Bu kitaba sığmayan daha neler var!

Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!



BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.

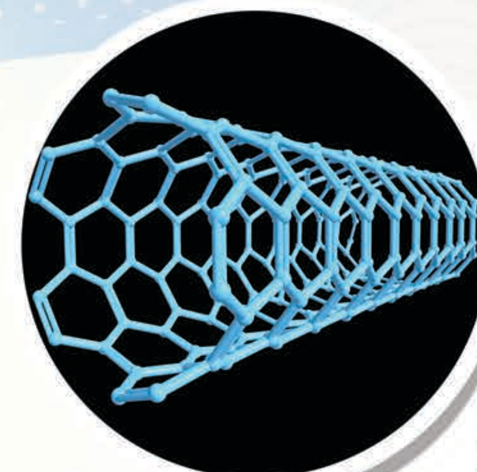
ORTAÖĞRETİM KİMYA DERS KİTABI 12

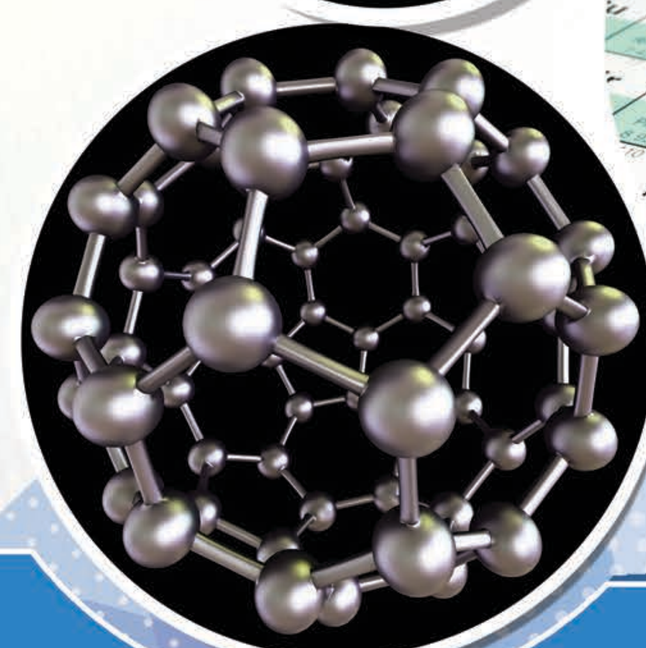
ORTAÖĞRETİM

KİMYA

DERS KİTABI

12







SDR İPEKYOLU YAYINCILIK

ORTAÖĞRETİM

KİMYA

12

DERS KİTABI

Bu kitap, Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nın 28.05.2018 tarih ve 78 sayılı (ekli listenin 147'nci sırasında) kurul kararıyla 2018-2019 öğretim yılından itibaren 5 (beş) yıl süreyle ders kitabı olarak kabul edilmiştir.

YAZAR

Barış DEMİRDAĞ

SDR İPEKYOLU YAYINCILIK

ISBN: 978-975-9073-24-4

Dil Uzmanı

Necla ŞANAL

Görsel Tasarım Uzmanı

Aysel GÜNEY TÜRKEÇ

SDR İPEKYOLU YAYINCILIK

Kavacık Subayevleri mah. Ergün sokak. No.: 58/B Keçiören /ANKARA

tel.: (0.312) 318 51 50 – 51 • belgegeçer: 318 52 51



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

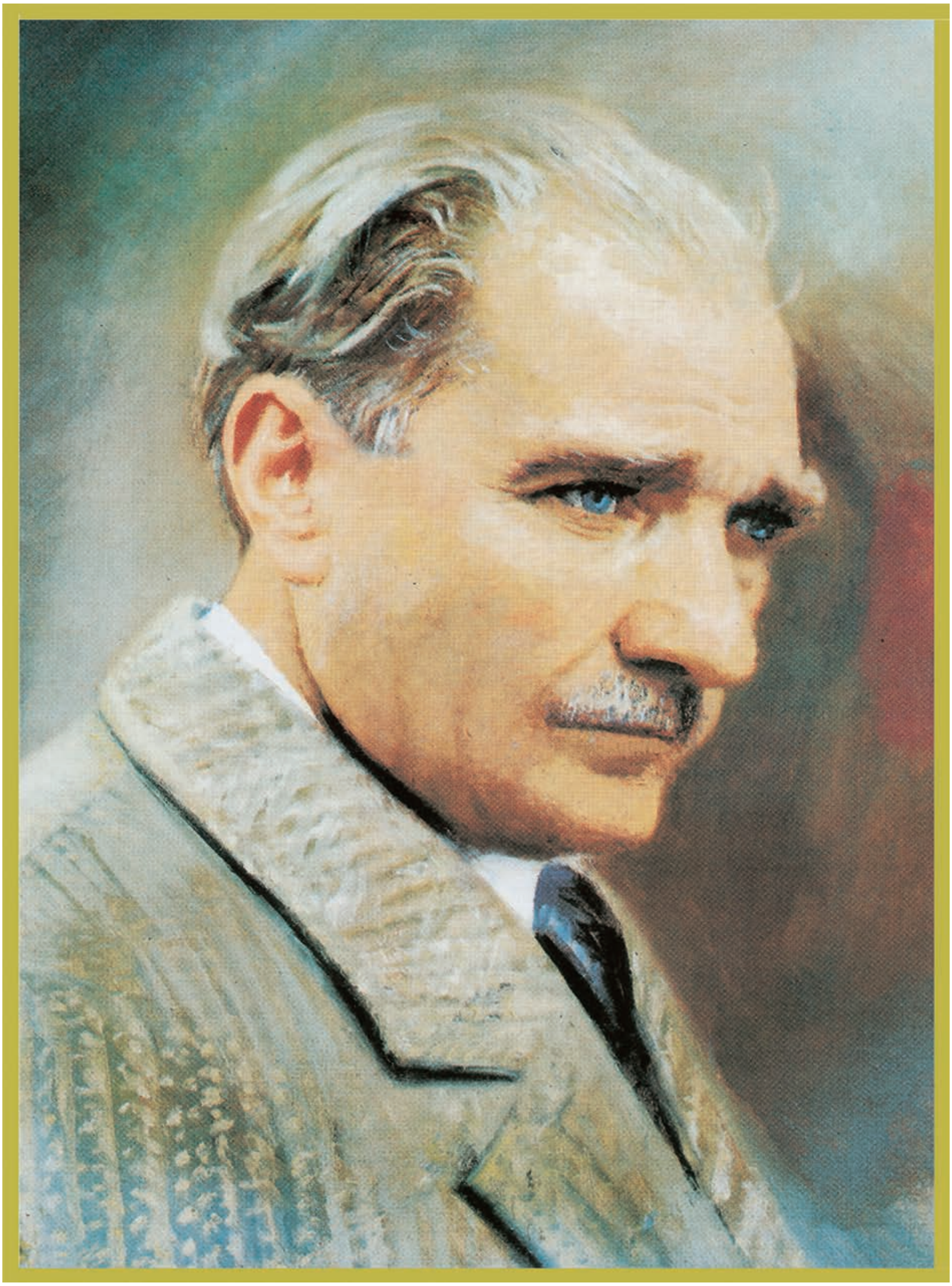
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

ORGANİZASYON ŞEMASI

Ünitenin içeriği ile ilgili konuların belirtildiği bölümdür.

1.
ÜNİTE

KİMYA VE ELEKTRİK

KONULAR
1.1. İNDİRGENME-YÜKSELTGENME TEPKİMELERİNDE ELEKTRİK AKIMI
1.1.1. Redoks Tepkimeleri
1.1.2. Redoks Tepkimeleriyle Elektrik Enerjisi Arasındaki İlişki
1.2. ELEKTROTLAR VE ELEKTROKİMYASAL HÜCRELER
1.3. ELEKTROT POTANSİYELLERİ
1.4. KİMYASALLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ
1.4.1. Galvanik Pillerin Voltajı ve Kullanım Ömrü
1.4.2. Lityum Pilleri
1.5. ELEKTROLİZ
1.5.1. Faraday Yasaları
1.5.2. Suyun Elektrolizi
1.6. KOROZYON

Ünite ile ilgili görsellerin yer aldığı bölümdür.



Cadde üzerinde şarj olan elektrikli bir araç



Cep telefonları, şarj edilebilen lityum iyon pilleri içerir.

Ünitenin öğrenim amaçlarının açıklandığı bölümdür.

Bu ünitede, indirgenme-yükseltgenme tepkimeleriyle piller ve elektroliz olayı ilişkilendirilecek; redoks olayları standart elektrot potansiyeli kavramı kullanılarak tartışılacak, gündelik hayatta yaygın kullanılan lityum iyon pilleri ve elektroliz süreçleri tanıtılacaktır. Bunlarla ilgili hesaplamalar yapılacak, korozyon süreci ve korozyondan korunma yöntemleri irdelenecektir.

Ünitede işlenecek konularla ilgili hazırlık sorularının bulunduğu bölümdür.

ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI
1. Kimyasallardan elektrik enerjisi nasıl elde edilir?
2. Elektroliz ile bazı maddelerin bileşiklerine ayrıştırılması nasıl gerçekleştirilir?
3. Korozyonu önlemenin elektrokimyasal temelleri nelerdir?

Ünite ile ilgili örneklerin bulunduğu bölümdür. → **Örnek**

Ünite ile ilgili örneklerin çözümlerinin bulunduğu bölümdür. → **Çözüm**

Örneklerin çözümlerine ilişkin stratejilerin yer aldığı bölümdür. → **Strateji**

Öğrenilenlerin pekiştirilmesi amacıyla alıştırma sorularının verildiği bölümdür. → **Alıştırma**

Konu ile ilgili örneklerin günlük yaşamla ilişkilendirilerek araştırılması amacıyla hazırlanan bölümdür. → **Araştırma**

Öğrencilerin öğrenme süreçlerinde bilişim teknolojilerinden faydalanmaları amacıyla verilen bölümdür.

Bilişim Teknolojileri

Ünitenin konularına ilişkin ilgi çekici olduğu düşünülen bazı bilgilere yer verilen bölümdür.

Ünitenin konuları ile ilgili önemli noktalara dikkat çekmek amacıyla verilen bölümdür.

Ünitenin konuları ile ilgili ön bilgileri hatırlamayı amaçlayan bölümdür.

Hatırlayalım

Konu ile ilgili okuma metinlerinin yer aldığı bölümdür.

Okuma Metni

Konuyla ilgili deneyin numarasının verildiği bölümdür.

Deneylerde kullanılacak araç gereç ve malzemelerin listelendiği kısımdır.

Deneyin yapılışının açıklandığı bölümdür.

Deney 1.1.

Çinko-Bakır Pili

Odak sorusu: Çinko ve bakır metalleri kullanılarak pil elde edilebilir mi?

Kavramsal Kısım

Odak sorusunu yanıtlayabilmek için aşağıda belirtilen kavram ve ilkeleri bilmeliyiz. Deneye başlamadan önce bu kavram ve ilkeleri araştırınız.

- İndirgenme ve yükseltgenme nedir? İndirgenme ve yükseltgenme olaylarını yarı tepkimeler ile gösteriniz.
- Bakır ve çinko elektrotlarının indirgenme potansiyelleri kaç volttur?
- İndirgenme potansiyellerine göre bakır ve çinko elektrotlarından hangisinin metalik aktifliği daha fazladır?

Deneyde Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 1 tane çinko plaka
- 1 tane bakır plaka
- Tuz köprüsü için NaCl çözeltisi
- 1 M $CuSO_4$ çözeltisi
- 1 M $ZnSO_4$ çözeltisi
- 2 adet 100 mL beher
- 1 tane cam U borusu
- Voltmetre
- 2 adet iletken kablo
- Pamuk
- Hassas terazi

Deneyin Yapılışı



1. 100 mL'lik beherlerden birine 80 mL $CuSO_4$ çözeltisi, diğerine 80 mL $ZnSO_4$ çözeltisi konulur.

2. Bakır ve çinko plakalar hassas terazi ile tartılır ve kütleleri kaydedilir.

3. Çinko plaka $ZnSO_4$ çözeltisine, bakır plaka $CuSO_4$ çözeltisine daldırılır.

4. Çinko elektrodu iletken kablo ile voltmetrenin bir ucuna, bakır elektrodu iletken bir kablo ile voltmetrenin diğer ucuna bağlanır.

Voltmetrenin ekranında herhangi bir değişim gözlemlediniz mi?

5. Cam U borusuna NaCl çözeltisi konulur. Borunun her iki ucu pamuk ile kapatılır. Ters çevrilerek borunun bir ucu bakır elektrodun olduğu behere, diğer ucu çinko elektrodun olduğu behere daldırılır.

6. Voltmetrenin ekranında gözlemlenen değerler, kayıtlar ve veri dönüşümleri tablosunda 0, 1, 5, 10 dakika aralıklarla kaydedilir.

7. Bakır ve çinko plakaların kütlesi, tablosuna deney tamamlandıktan sonra hassas terazide tekrar tartılır; kayıtlar ve veri dönüşümleri tablosuna kaydedilir.

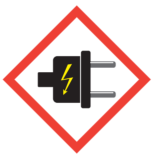
Deneysel İddialar

Kayıtlar ve Veri Dönüşümleri

Zaman (dk.)	Pil Potansiyeli (V)
0	
1	
5	
10	

	Plakaların Kütlesi (g)
Deney başlangıcında	Çinko elektrot:
	Bakır elektrot:
Deney sonunda	Çinko elektrot:
	Bakır elektrot:

LABORATUVAR GÜVENLİK SEMBOLLERİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
	**SICAK CİSİM UYARISI** Bu sembol, yapılacak işlemde ısıtıcı kullanılacaksa veya sıcak bir yüzey söz konusu ise tedbir alınması gerektiğini belirtir.		**KORUYUCU ELBİSE GİY** Bu sembol, koruyucu elbise giyilerek çalışılması gerektiğini belirtir.
	**YANGIN UYARISI** Bu sembol, açık alev etrafında tedbir alınması gerektiğini belirtir.		**ELDİVEN GİY** Bu sembol, eldiven giyilerek çalışılması gerektiğini belirtir.
	**ELEKTRİK UYARISI** Bu sembol, elektrikli aletler kullanılırken dikkat edilmesi gerektiğini belirtir.		**GÖZLÜK KULLAN** Bu sembol, gözler için tehlike olduğunu gösterir. Bu sembol görüldüğünde koruyucu gözlük takılmalıdır.
	**KESİCİ / DELİCİ CİSİM UYARISI** Bu sembol, kesme ve delme tehlikesi olan keskin cisimlerle çalışıldığı zaman dikkat edilmesi gerektiğini belirtir.		**KIRILABİLİR CAM UYARISI** Bu sembol, kırıldığında tehlikeli olabilecek cam cisimler kulanıldığı zaman dikkat edilmesi gerektiğini belirtir.
	**TAHRİŞ EDİCİ** Deri ve göz tahrişine, cilt hassasiyetine, solunum yolu tahrişine, narkotik etkilere sebep olur.		**KOROZİF (AŞINDIRICI)** Metaller için aşındırıcıdır. Deri korozyonuna ve ciddi göz hasarına neden olur.
	**ÇEVREYE ZARARLI** Suda yaşayan canlılar için zararlıdır. Bu maddelerin atıkları doğrudan lavaboya dökülmez, çevreye atılmaz. Bunlar, bu tür maddelerin atıklarını toplamakla yetkili kurum ve kuruluşlara teslim edilir (Örneğin belediyeler).		**RADYOAKTİF** Canlı dokularda kalıcı hasarlara neden olan radyasyon uyarısıdır. Bu uyarı işaretinin bulunduğu alanlardan uzak durulmalıdır. Söz konusu olanlarda bulunma zorunluluğu varsa özel kıyafetler giyilmelidir.
	**ZEHİRLİ (TOKSİK) MADDE** Ağız, solunum ya da deri yoluyla vücuda alındığında zehirli etkiye sahiptir. Bu tür maddelerle çalışılırken gözlük, eldiven ve maske kullanılmalı; bir şey yenilip içilmemelidir.		**PATLAYICI** Isıtıldığında ya da başka maddelerle karıştırıldığında patlayıcı özelliktedir. Bu tür maddeler ateşten, ısıdan, darbeden, sürtünmeden uzak tutulmalıdır. Kimyasal tepkimeye girdiğinde patlayabilecek maddeler birbiriyle karıştırılmamalıdır.
	**YANICI** Bu maddeler, kolayca tutuşabilir özelliktedir. Tutuştuğu zaman söndürülmesi zor olabilir. Isı kaynaklarından uzak tutulmalıdır. Bu tür maddelerle çalışılan ortamlarda mutlaka yangın söndürücüler bulundurulmalıdır.		**YAKICI (OKSİTLEYİCİ)** Yanıcı maddelerle temas ettiğinde bu maddelerin tutuşmasına sebep olur. Yakıcılar, maddelerden uzak tutulmalı; bu tür maddelerle çalışılan ortamlarda mutlaka yangın söndürücüler bulundurulmalıdır.

1
ÜNİTE

KİMYA VE ELEKTRİK

KONULAR

1.1. İNDİRGENME-YÜKSELTGENME TEPKİMELERİNDE ELEKTRİK AKIMI
- **1.1.1. Redoks Tepkimeleri**
- **1.1.2. Redoks Tepkimeleriyle Elektrik Enerjisi Arasındaki İlişki**

1.2. ELEKTROTLAR VE ELEKTROKİMYASAL HÜCRELER

1.3. ELEKTROT POTANSİYELLERİ

1.4. KİMYASALLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ
- **1.4.1. Galvanik Pillerin Voltajı ve Kullanım Ömrü**
- **1.4.2. Lityum Pilleri**

1.5. ELEKTROLİZ
- **1.5.1. Faraday Yasaları**
- **1.5.2. Suyun Elektrolizi**

1.6. KOROZYON



Cadde üzerinde şarj olan elektrikli bir araç



Cep telefonları, şarj edilebilen lityum iyon pilleri içerir.

Bu ünitede, indirgenme-yükseltgenme tepkimeleriyle piller ve elektroliz olayı ilişkilendirilecek; redoks olayları standart elektrot potansiyeli kavramı kullanılarak tartışılacak, gündelik hayatta yaygın kullanılan lityum iyon pilleri ve elektroliz süreçleri tanıtılacaktır. Bunlarla ilgili hesaplamalar yapılacak, korozyon süreci ve korozyondan korunma yöntemleri irdelenecektir.

ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI

1. Kimyasallardan elektrik enerjisi nasıl elde edilir?
2. Elektroliz ile bazı maddelerin bileşiklerine ayrıştırılması nasıl gerçekleştirilir?
3. Korozyonu önlemenin elektrokimyasal temelleri nelerdir?

1.1. İNDİRGENME-YÜKSELTGENME TEPKİMELERİNDE ELEKTRİK AKIMI

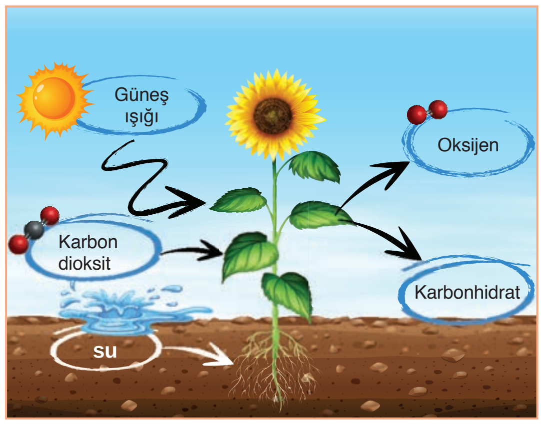
11. sınıf "Kimyasal Tepkimelerde Enerji" ünitesinde enerjinin farklı türlerde olduğunu ve bu enerji türlerinin birbirine dönüştürülebildiğini öğrenmiştiniz. Ayrıca kimyasal tepkimelere eşlik eden ısı enerjisi ile ilgili detaylı bilgiler edinmiştiniz. Bu bölümde, kimyasal tepkimeler ile elektrik enerjisi arasındaki ilişki incelenecek ve bunun günlük yaşamdaki uygulamaları üzerinde durulacaktır.

1.1.1. Redoks Tepkimeleri

Kimyasal tepkimeler ile elektrik enerjisi arasındaki ilişkileri inceleyen kimyanın alt bilim dalına **elektrokimya** denir. Elektrokimyasal süreçler, indirgenme-yükseltgenme tepkimeleridir. Bazı indirgenme-yükseltgenme tepkimelerinde elektrik enerjisi açığa çıkarken bazılarında tepkimenin gerçekleşmesi için elektrik enerjisi kullanılır. Bu ünitede, elektrik enerjisi elde edilen ve elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleştirilen indirgenme-yükseltgenme tepkimeleri ile ilgili detaylı bilgilere yer verilecektir.

Canlıların yaşamında çok önemli yeri olan oksijen gazı, fotosentez tepkimesi sonucu oluşur (Görsel 1.1).

$$6CO_2(g) + 6H_2O(g) \rightarrow C_6H_{12}O_6(k) + 6O_2(g)$$



Görsel 1.1: *Bitkilerde fotosentez sonucu O_2 gazının oluşumu*

Fosil bir yakıt olan doğal gazın yapısında bulunan metanın yanması ile açığa çıkan enerji, evlerimizi ısıtmada kullanılmaktadır.

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(s) + \text{ısı}$$

Enerji elde etmek için günümüzde fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynaklar arasında en önemlilerden biri de yakıt pilleridir.

NASA tarafından uzay çalışmalarında enerji sağlayıcı olarak kullanılan yakıt pilleri, 1960'lı yıllarda ilk yakıt hücreli traktör yapımı ile kara ulaşımında kullanıma sunulmuştur. 1980'li yıllarda yakıt hücreli tren, 1990'lı yıllarda yakıt hücreli denizaltı ve uçak geliştirilmiş; son yıllarda ise kara araçlarında ve güç santrallerinde yakıt pilleri yaygın araştırma ve uygulama konusu olmuştur (Görsel 1.2).



Görsel 1.2: *Yakıt pili ile çalışan bir konsept araç*

Yakıt pilleri, yapılarında kullanılan elektrota göre çeşitli isimler alır. Polimer elektrolit yakıt pilinden (PEM) aşağıdaki tepkimeler ile enerji elde edilir:

$$H_2(g) \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

$$2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}\,O_2 \rightarrow H_2O$$

Denizcilerin en büyük sorunu paslanmadır. Metallerin paslanması gemilerde ya da teknelerde (Görsel 1.3) kullanılan malzemelerin bir süre sonra kullanılamaz hâle gelmesine neden olmaktadır. Bir demirin paslanma tepkimesi şu şekilde gösterilebilir:

$$4Fe(k) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3$$



Görsel 1.3: *Korozyondan etkilenmiş ve kullanılmaz hâlde gelmiş bir gemi*

Yukarıdaki tepkimeler birbirinden ne kadar farklı görünse de dikkatli incelendiğinde tepkimeye giren atomların tepkime sonrası yükseltgenme basamakları değişmiştir.

Maddelerin yükseltgenme basamaklarının değiştiği tepkimelere **indirgenme-yükseltgenme (redoks) tepkimesi** denir.

Elektron alışverişine dayalı bu tür tepkimelerde elektron veren madde **indirgen**, elektron alan madde **yükseltgen** özellik gösterir. Başka bir ifade ile elektron alma **indirgenme**, elektron verme **yükseltgenme** olayını gösterir. Nötr ortamda gerçekleşen redoks tepkimelerinin denkleştirilmesinde genellikle aşağıdaki işlem basamakları uygulanır.

1. Tepkimedeki girenlerde ve ürünlerde yer alan atomların yükseltgenme basamakları belirlenir.

2. Yükseltgenen ve indirgenen maddeler belirlenir. Yükseltgenme ve indirgenme olayları iki yarı tepkimeye ayrılarak da gösterilebilir.

3. Yükseltgenme ve indirgenmede alınan ve verilen elektron sayıları, uygun katsayılar kullanılarak eşitlenir.

4. Bu katsayılar, tepkimede yüseltgenme ve indirgenme ile ilgili maddelerin önüne yazılır.

5. Yükseltgenme ve indirgenmenin dışında kalan diğer atomlar uygun katsayılar kullanılarak eşitlenir. Aşağıdaki tepkimeyi önce indirgenme ve yükseltgenme olayları açısından inceleyelim, daha sonra denkleştirelim.

$$Mg(k) + O_2(g) \rightarrow MgO(k)$$

$Mg(k)$ element hâlde iken henüz elektron alışverişi yapmadığı için yükseltgenme basamağı sıfır "0" dır. Mg, MgO bileşiği oluşturduğunda 2+ yüklü iyon hâline gelmiştir (Mg^{2+}). $O_2(g)$ girenler tarafında element hâlde bulunduğu ve henüz bileşik oluşturmadığı için yükseltgenme basamağı sıfır "0"dır. MgO bileşiğinin yapısında 2– yükseltgenme basamağına sahiptir. Buna göre $Mg(k)$ elektron vererek Mg^{2+} iyonuna, $O_2(g)$ de elektron alarak O^{2-} iyonuna dönüşmüştür. Yükseltgenme basamaklarının değişimini tepkime denklemi üzerinde gösterelim.

$$\overset{0}{Mg}(k) + \overset{0}{O_2}(g) \rightarrow \overset{2+}{Mg}\overset{2-}{O}(k)$$

Yükseltgenme ve indirgenme olaylarını ayrı ayrı gösterelim.

$$Mg(k) \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-} \quad \text{yükseltgenme}$$

$$O_2(g) + 2e^{-} \rightarrow O^{2-} \quad \text{indirgenme}$$

Yükseltgenme olayında Mg atomlarının sayısı denktir. İndirgenme olayında O sayılarını eşitlemek için O_2'nin katsayısını 1/2 yapalım. Böylece tepkimeyi denkleştiririz.

$$Mg(k) \rightarrow Mg^{2+} + \cancel{2e^{-}} \quad \text{yükseltgenme}$$

$$\frac{1}{2}O_2(g) + \cancel{2e^{-}} \rightarrow O^{2-} \quad \text{indirgenme}$$

$$Mg(k) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow MgO(k) \quad \text{denkleştirilmiş tepkime}$$

Yukarıdaki indirgenme ve yükseltgenme olaylarını gösteren denklemleri incelediğinizde alınan ve verilen elektron sayılarının eşit olduğunu göreceksiniz. Redoks tepkimelerinin denkleştirilmesinde alınan-verilen elektron sayılarının eşitlenmesi, denkleştirme işlemini kolaylaştırır (Atom türünün, atom sayılarının ve atom yüklerinin denkleşip denkleşmediği kontrol edilmelidir.).

Yukarıdaki açıklamalara göre Mg(k) elektron verdiği için **indirgen**, $O_2(g)$ elektron aldığı için **yükseltgen** özellik göstermiştir.

Tepkimeyi en küçük tam sayılarla denkleştirmek için tepkime 2 ile genişletilmelidir. Böylece redoks tepkimesi en küçük tam sayılarla denkleştirilir. Bir tepkimenin redoks tepkimesi olup olmadığını anlamak için tepkimede yer alan atomların yükseltgenme basamakları hesaplanmalı ve yükseltgenme basamaklarında değişim olup olmadığına bakılmalıdır. Yükseltgenme basamaklarında değişim varsa tepkime, redoks tepkimesidir. Alınan-verilen elektron sayılarının eşitlenmesi ile bu tepkime denkleştirilmelidir.

$$2Mg(k) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(k)$$

Yükseltgen ve indirgen maddelerin belirlenmesi için tepkimelerde yer alan maddelerin formülleri yazılır ve bunların içerdikleri elementlerin yükseltgenme sayıları belirlenir. Yükseltgenme basamaklarının nasıl belirlendiği 11. sınıfta birinci ünitede "Yükseltgenme Basamakları" konusunda işlenmişti. Yükseltgenme olayı, yükseltgenme sayısındaki artma ile, indirgenme olayı ise yükseltgenme sayısındaki azalma ile belirlenir.

Hatırlayalım

Yükseltgenme basamağının hesaplanmasını hatırlayalım. Bileşiklerde elementlerin yükseltgenme basamakları toplamı sıfırdır. Birden fazla atomdan oluşan iyonlarda ise elementlerin yükseltgenme basamakları toplamı iyon yüküne eşittir. 1A grubu elementleri (H hariç) +1, 2A grubu elementleri +2 ve 3A grubu elementleri +3 yükseltgenme basamağına sahiptir. Oksijen genellikle –2, hidrojen ise genellikle +1 yükseltgenme basamağına sahiptir. Bunun için dikromat $Cr_2O_7^{2-}$ iyonundaki kromun yükseltgenme basamağını hesaplayalım.

Oksijenin özel şartlar dışında yükseltgenme basamağı genellikle –2'dir. Dikromat iyonunun yükseltgenme basamağı –2 olduğuna göre ve kromun yükseltgenme basamağına X dersek

$-2 = 2 \cdot X + 7 \cdot (-2)$ olacaktır.

Buradan X yani Cr atomunun yükseltgenme basamağı +6 bulunacaktır.

Örnek

Aşağıdaki redoks tepkimesini denkleştirerek indirgen ve yükseltgen maddeleri gösterelim.

$Fe(k) + O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(k)$

Strateji

Alınan ve verilen elektron sayısı eşitlenmelidir.

Çözüm

1. Yol

Tepkimede alınan-verilen elektron sayılarını göstermek için indirgenme ve yükseltgenme olaylarını ayrı ayrı gösterelim. Tepkimelerde öncelikle yükseltgenme, ardından indirgenme tepkimeleri belirlenir. Bunun için atomların yükseltgenme sayılarındaki değişim dikkate alınır. Tepkimeye giren Fe atomunun yükseltgenme basamağı 0 iken ürünlerde yükseltgenme basamağı 3+ olmuştur. Bu durumda Fe atomu, yükseltgenme tepkimesi vermiştir. Bir tepkimede yükseltgenme varsa indirgenme de olmalıdır. Tepkimeye giren oksijenin yükseltgenme basamağı 0'dır. Ürünlerde ise oksijenin yükseltgenme basamağı 2–'dir. Bu durumda oksijen de indirgenme tepkimesi vermiştir. Bu tepkimeler şu şekilde yazılır:

1. Adım

$Fe(k) \rightarrow Fe^{3+} + 3e^-$ yükseltgenme

$\frac{1}{2}O_2(g) + 2e^- \rightarrow O^{2-}$ indirgenme

Alınan ve verilen elektron sayılarını eşitlemek için yükseltgenme tepkimesi 2 ile, indirgenme tepkimesi ise 3 ile genişletilmelidir.

2. Adım

İndirgenme ve yükseltgenme olayları birinci adımda belirtilen katsayılar ile genişletildiğinde alınan-verilen elektron sayıları eşitlenir.

$$2\ /\ Fe(k) \rightarrow Fe^{3+} + 3e^{-} \qquad \text{yükseltgenme}$$

$$3\ /\ \frac{1}{2}O_2(g) + 2e^{-} \rightarrow O^{2-} \qquad \text{indirgenme}$$

3. Adım

Yukarıdaki işlemler sonucunda elde edilen indirgenme ve yükseltgenme olayları taraf tarafa toplandığında aşağıdaki tepkime elde edilir.

$$2Fe(k) \rightarrow 2Fe^{3+} + \cancel{6}e^{-}$$

$$\frac{3}{2}O_2(g) + \cancel{6}e^{-} \rightarrow 3O^{2-}$$

$$2Fe(k) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(k)$$

En küçük tam sayı ile denkleştirmek için tepkime 2 ile genişletilmelidir. En küçük tam sayılar ile denkleştirilmiş tepkime aşağıdaki gibidir.

$$4Fe(k) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(g)$$

2. Yol

1. Adım

Tepkimedeki atomların yükseltgenme basamakları bulunur.

$$\overset{0}{Fe}(k) + \overset{0}{O_2}(g) \rightarrow \overset{3+}{Fe_2}\overset{2-}{O_3}(k)$$

2. Adım

Yükseltgenme basamağı değişen atomlarda alınan-verilen elektron sayıları belirlenir.

3. Adım

Yükseltgenme basamağı değişen atomlarda alınan-verilen elektron sayıları eşitlenir. Elektron sayısının eşitlenmesinin nedeni, bir tepkimede alınan ve verilen elektron sayılarının eşit olması gerekliliğidir.

$2 \cdot 3e^{-} = 6e^{-}$ verdi.

$$\overset{0}{Fe}(k) + \overset{0}{O_2}(g) \rightarrow \overset{3+}{Fe_2}\overset{2-}{O_3}(k)$$

$3/2 \cdot 2 \cdot (2e^{-}) = 6e^{-}$ aldı.

Bu eşitlemeyi yaparken atom sayılarına da dikkat edilmelidir.

4. Adım

Atom türü ve atom sayılarının da eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle girenlerde $Fe(k)$ için 2 katsayısı kullanıldığında, ürünlerde 2 tane Fe atomu olduğu için tepkime denkleşir. O atomu, ürünlerde 3 tane olduğundan $O_{2(g)}$ için 3/2 katsayısı kullanılmalıdır.

$$2Fe(k) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3(k)$$

Tepkime en küçük tam sayılar ile denkleştirilmek istenirse 2 ile genişletilmelidir.

$$4Fe(k) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(k)$$

$Fe(k)$ indirgen (elektron veren) madde

$O_2(g)$ yükseltgen (elektron alan) madde

Alıştırma

Aşağıda verilen redoks tepkimelerini en küçük tam sayılarla denkleştiriniz.

1) $Al(k) + Br_2(s) \rightarrow AlBr_3(k)$

2) $Zn(k) + AgNO_3(suda) \rightarrow Zn(NO_3)_2(suda) + Ag(k)$

3) $Cu(k) + HNO_3(suda) \rightarrow Cu(NO_3)_2(suda) + NO(g) + H_2O(s)$

Redoks tepkimelerinin günlük yaşantımızda farklı kullanım alanları vardır ve birçok madde yükseltgen ya da indirgen olarak farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Tekstil sektöründe ağartma işlemlerinde, metalürjide metallerin elde edilmesinde ya da saflaştırılmasında, tıpta mikropların yok edilmesinde, içme sularındaki Fe^{2+} ve Mn^{2+} bazı metal katyonlarının uzaklaştırılmasında, kozmetik sektöründe (renk açıcı olarak) indirgen ve yükseltgen maddeler kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamaların yanı sıra, biyolojik sistemler ve metabolizmalar için de indirgen ve yükseltgen maddeler büyük öneme sahiptir. Örneğin glikozun hidrolizi ya da sindirimi redoks tepkimesidir. Tablo 1.1'de yaygın kullanılan bazı indirgen ve yükseltgen maddeler ile bunların kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 1.1: *Yaygın kullanılan bazı indirgen ve yükseltgen maddeler*

Madde	Maddenin Adı	Özellik	Kullanım Alanı
$KMnO_4$	Potasyum permanganat	Yükseltgen	Mikrop öldürücü, renk giderici
H_2O_2	Hidrojen peroksit	Yükseltgen	Tıpta antiseptik üretimi, saç boyama
O_2	Oksijen	Yükseltgen	Kaynakçılık, uzay çalışmalarında yakıcı, tıpta mikrop öldürücü
H_2SO_4	Sülfürik asit	Yükseltgen	Gübre üretimi, akü üretimi, deterjan üretimi, petrol endüstrisinde katalizör
HNO_3	Nitrik asit	Yükseltgen	Patlayıcı madde, gübre üretimi, metallerin saflaştırılması
H_2	Hidrojen	İndirgen	Margarin üretimi, molibden ve tungsten gibi metallerin elde edilmesi
SO_2	Kükürtdioksit	İndirgen	Kurutulmuş meyvelerde koruyucu; mikrop öldürücü, sülfürik asit üretimi, kâğıt üretiminde beyazlatıcı

1.1.2. Redoks Tepkimeleriyle Elektrik Enerjisi Arasındaki İlişki

İndirgen ve yükseltgen maddeler birbiriyle doğrudan temas ederse e^- alışverişi ile bir redoks tepkimesi gerçekleşir. Örneğin MnO_4^- ve Fe^{2+} arasında gerçekleşen redoks tepkimesini inceleyelim.

$$8H^+(suda) + MnO_4^-(suda) + 5Fe^{2+}(suda) \rightarrow Mn^{2+}(suda) + 5Fe^{3+}(suda) + 4H_2O(s)$$

Bu tepkimede, Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgenirken MnO_4^- iyonları Mn^{2+} iyonlarına indirgenmiştir. Kimyasal tepkimelerde girenlerin ve ürünlerin yük denkliği sağlanmalıdır. Aşağıdaki birinci tepkimede girenlerin toplam yükü $+7(8H^+$ ve $MnO_4^-)$, ürünlerin toplam yükü $+2$'dir(Mn^{2+}). Toplam yük denkliğinin sağlanması için girenlere $5e^-$ yazılır. İkinci tepkimede girenlerin toplam yükü $+2(Fe^{2+})$, ürünlerin toplam yükü $+3$'tür(Fe^{3+}). Toplam yük denkliğinin sağlanması için ürünlere $1e^-$ yazılır.

$$8H^+(suda) + MnO_4^-(suda) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(suda) + 4H_2O(s) \quad \text{indirgenme yarı tepkimesi}$$

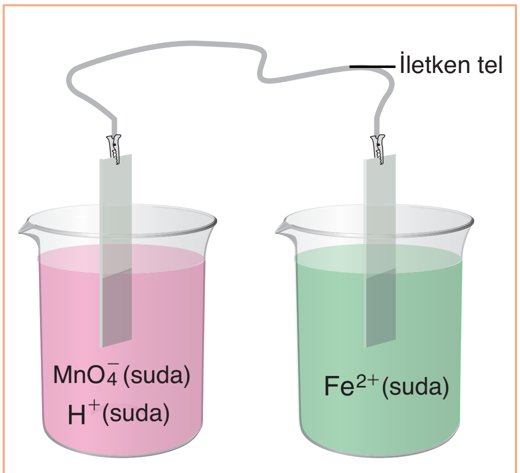
$$5 \,/\, Fe^{2+}(suda) \rightarrow Fe^{3+}(suda) + e^- \quad \text{yükseltgenme yarı tepkimesi}$$

Aynı kapta bulunan doğrudan temas hâlindeki yükseltgen (MnO_4^-) ve indirgen (Fe^{2+}) maddeler birbiriyle istemli olarak tepkimeye girer. Böyle bir durumda bu tepkimede, kimyasal enerjinin bir miktarı, ısı enerjisine dönüşür. Bu enerji dönüşümü yararlı, iş yapabilir (kullanılabilir) bir enerji dönüşümü değildir.

Bu kimyasal enerji nasıl daha yararlı bir hâle dönüştürülebilir? İndirgen ve yükseltgen maddeler birbiriyle doğrudan temas hâlinde olmadan bir redoks tepkimesi gerçekleştirilebilir mi?

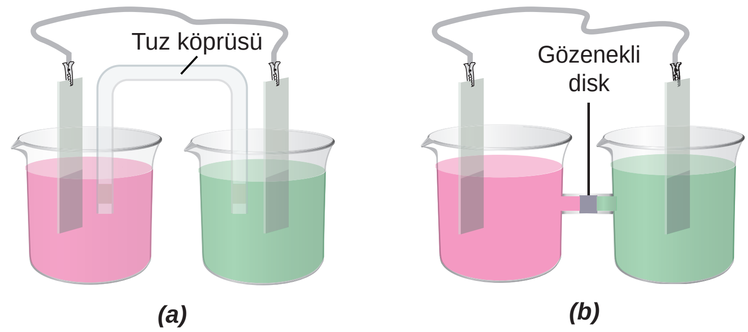
Burada anahtar nokta, indirgen ve yükseltgenin birbirinden ayrılması (ayrı kaplarda) ve bir iletken tel ile elektron transferinin sağlanmasıdır (Görsel 1.4).

İletken tel aracılığı ile aktarılan elektronlar, elektrikle çalışan bir cihaza yönlendirilebilir. Böylece kimyasal enerji, elektrik enerjisine dönüştürülür. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir nokta daha vardır. Fe^{2+} iyonlarının bulunduğu kapta oluşan elektronlar diğer kaba doğru hareket ettiğinde, Fe^{2+} iyonlarının bulunduğu kap elektron kaybeder. Böylece Fe^{2+} iyonlarının bulunduğu kap, pozitif yüklü hâle gelir. Bu durum, negatif yüklü elektronların diğer kaba hareketini zorlaştırır. Bu nedenle kaplardaki yük denkliğinin de sağlanması gerekir.



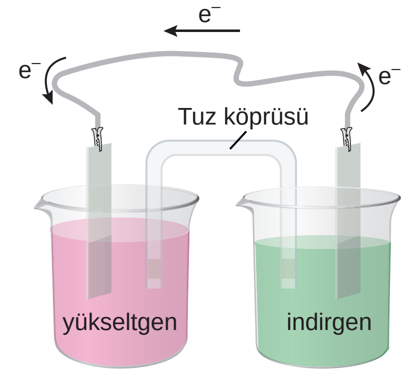
Görsel 1.4: *Ayrı kaplardaki indirgen ve yükseltgenlerin iletken tel ile bağlanması*

İçinde bir tuz çözeltisi bulunan cam U borusu (Görsel 1.5.a) ya da iyon geçişine imkân veren gözenekli bir disk (Görsel 1.5.b) kullanmak, kaplardaki yük denkliğinin sağlanmasına yardımcı olur.



***Görsel 1.5:* a.** *Tuz çözeltisi içeren cam U borusu* **b.** *Gözenekli disk*

İndirgen maddenin bulunduğu kapta açığa çıkan elektronlar, iletken telden yükseltgen maddenin bulunduğu tarafa doğru hareket eder (Görsel 1.6). Böylece kimyasal enerjiden elektrik enerjisi elde edilir. Yükseltgen maddenin elektronları kendine doğru çekmesi potansiyel bir fark oluşturur. Bu elektriksel potansiyel farkın birimi **volt (V)** ile tanımlanmıştır. İki kap arasında oluşan potansiyel fark (elektrik miktarı), basit bir voltmetre (Görsel 1.7) ile ölçülebilir. Günümüzde daha hassas ölçümler yapan dijital voltmetreler kullanılmaktadır (Görsel 1.8).



Görsel 1.6: *İndirgenme ve yükseltgenme ile elektronların hareketi*

Kaplarda farklı indirgen ve yükseltgenlerin kullanılması nedeniyle iletken telden geçen elektrik miktarı farklı olmaktadır.

İndirgen ve yükseltgen maddelerin tepkimeye girme istekleri ne kadar fazla ise aralarındaki tepkimede üretilen elektrik enerjisi o kadar fazla olur. Buradan hareketle voltmetre ile yapılan ölçümlere bakılarak bir redoks tepkimesinin istemli ya da istemsiz olup olmadığı veya ne derece istemli olduğu belirlenebilir.

Kendiliğinden gerçekleşen bir redoks tepkimesi ile elektrik enerjisi üretilebilir. Kendiliğinden olmayan bir redoks tepkimesi ise ancak dışarıdan elektrik enerjisi verilerek gerçekleştirilebilir. Her iki durum için de daha detaylı bilgiler ilerleyen konularda ele alınacaktır.



Görsel 1.7: *Basit voltmetre*



Görsel 1.8: *Dijital voltmetre*

1.2. ELEKTROTLAR VE ELEKTROKİMYASAL HÜCRELER

Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebildiğini önceki bölümde açıkladık. Enerjinin dönüştürülebilmesi ilkesine göre elektrik enerjisi de kimyasal enerjiye dönüştürülebilir. Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülebilmesine imkân sağlayan sistemlere **elektrokimyasal hücreler** denir. Bu bölümde elektrokimyasal hücrelerin özellikleri incelenecektir.

Elektrokimyasal hücreler genel olarak ikiye ayrılır:

1) Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren **Voltaik hücreler** olarak da bilinen **Galvanik hücreler** (pil)*****

2) Elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren **elektrolitik hücreler** (elektroliz sistemi)

Galvanik hücreler, istemli olarak gerçekleşen redoks tepkimeleri sonucunda elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Bir galvanik hücre oluşturmak için bir çinko (Zn) metali, çinko sülfat ($ZnSO_4$) çözeltisine ve bir bakır (Cu) metali, bakır (II) sülfat ($CuSO_4$) çözeltisine daldırılır. Temel olarak bu Galvanik hücrede gerçekleşen olay, Zn metalinin yükseltgenerek Zn^{2+} iyonlarına ve Cu^{2+} iyonlarının indirgenerek metalik Cu'a dönüşümüdür. İndirgenme ve yükseltgenme olaylarında aktarılan elektronların yer değiştirmesi, Zn ve Cu metallerini birbirine bağlayan iletken bir tel aracılığı ile sağlanır. Burada kullanılan Zn ve Cu metalleri **elektrot** olarak adlandırılır. Zn elektrodun daldırıldığı $ZnSO_4$ çözeltisine ve Cu elektrodun daldırıldığı $CuSO_4$ çözeltisine **elektrolit** adı verilir. Zn elektrodun olduğu tarafta yükseltgenme meydana gelir. Cu elektrodun olduğu tarafta indirgenme meydana gelir. Yükseltgenmenin gerçekleştiği elektrot **anot**, indirgenmenin gerçekleştiği elektrot **katot** olarak adlandırılır.

Zn elektrot (anot): $Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + 2e^-$

Cu elektrot (katot): $Cu^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cu(k)$

Net tepkime: $Zn(k) + Cu^{2+}(suda) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + Cu(k)$



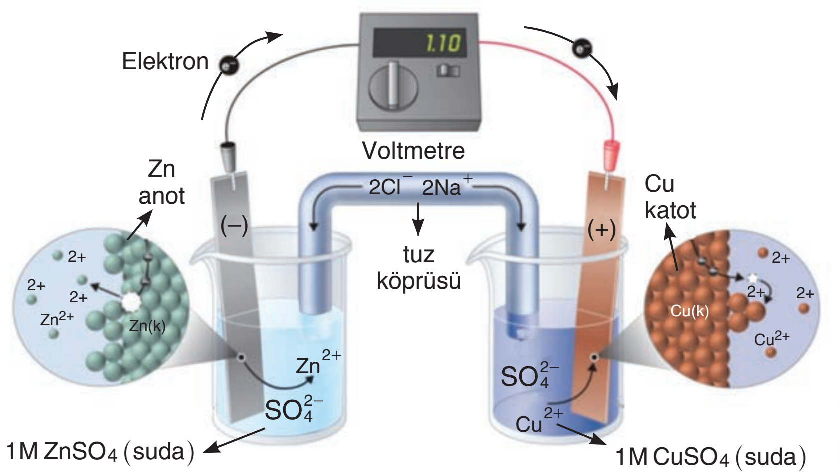
Görsel 1.9: *Luigi Galvani (1737-1798), İtalyan fizikçi, doktor ve felsefecidir. Ölmüş kurbağa bacağındaki kasların elektriklenmeyle titreşim gösterdiğini, kas ve sinir hücrelerinin elektrik ürettiğini keşfetmiştir. Çalışmaları kimyasal yolla elektrik üretimi çalışmalarına öncülük etmiştir.*



Görsel 1.10: *Alessandro Volta (1745-1827), 40 yıla yakın bir süre Pavia (Pavya) Üniversitesinde deneysel fizik alanında profesör olarak görev yapmıştır. Galvani'nin deneylerini kontrol ederek tekrarlayan Volta, ilk elektrokimyasal hücreyi (pili) geliştirmiştir.*

***** *İtalyan bilim insanları Luigi Galvani (Luici Galvani, Görsel 1.9) ve Alessandro Volta'ya (Alesandro Volta, Görsel 1.10) atfen bu isimler kullanılmaktadır.*

İndirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimelerinin gerçekleştiği bölümlere **yarı hücre,** bu sistemin tamamına (indirgenme ve yükseltgenmeyi aynı anda kapsayan) **hücre** denir. Yükseltgenme sonucu açığa çıkan elektronlar, elektrona ihtiyaç duyulan indirgenmenin olduğu tarafa doğru, iletken tel aracılığı ile hareket eder (Elektron hareketi, anottan katoda doğrudur.). Elektronların yer değiştirmesi ile birlikte yarı hücrelerde yük denkliği bozulur. Elektron hareketinin sürekli olması için yük denkliğinin de sağlanması gerekir. Yük denkliğinin sağlanmasında içinde tuz çözeltisi bulunan U şeklinde cam bir boru kullanılır. Buna **tuz köprüsü** denir (Görsel 1.11.a).

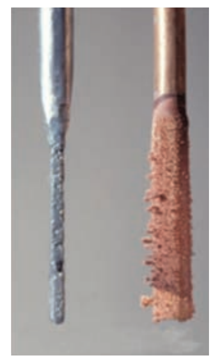


Yükseltgenme yarı tepkimesi — İndirgenme yarı tepkimesi

$Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + 2e^-$ $\quad$ $Cu^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cu(k)$

Net tepkime: $Zn(k) + Cu^{2+}(suda) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + Cu(k)$

(a)



Zn anot Cu katot

(b)

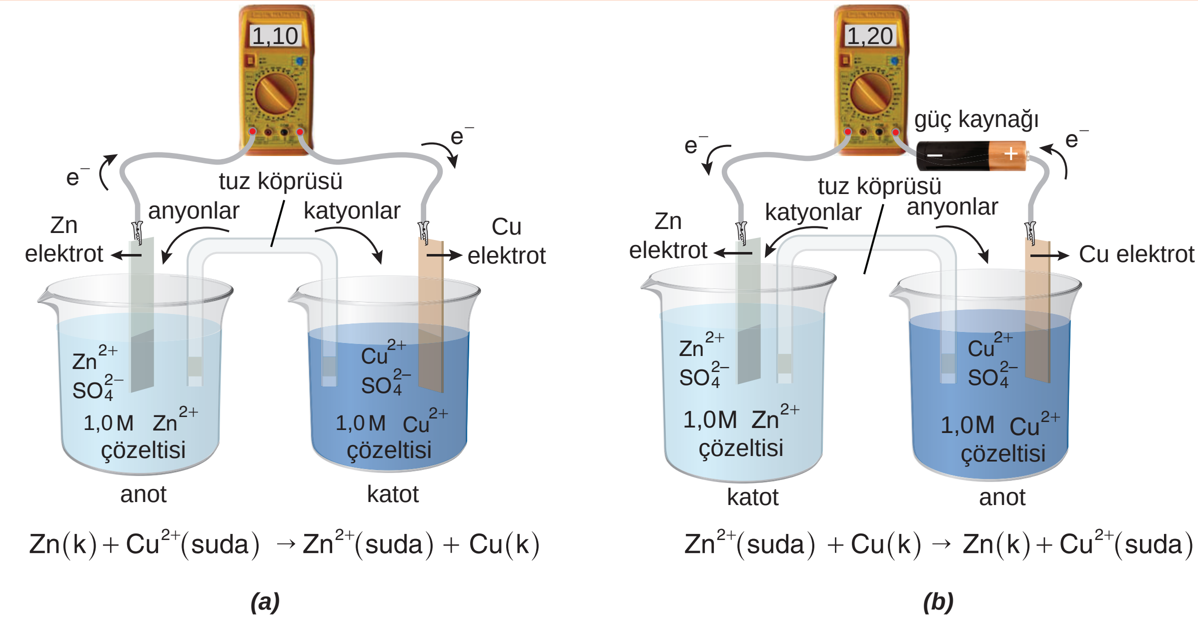
***Görsel 1.11: a.** Galvanik hücre **b.** Galvanik hücrede anot ve katottaki değişim*

Anot yarı hücresinde, metalik Zn'nun Zn^{2+} iyonlarına dönüşmesiyle birlikte Zn elektrodun zamanla aşındığı gözlemlenir. Katot yarı hücresinde ise Cu^{2+} iyonları metalik Cu'a indirgendiği için Cu elektrodun çevresi Cu metali ile kaplanır (Görsel 1.11.b).

Bir Galvanik hücre, hücre diyagramı (hücre şeması veya pil şeması) ile daha basit bir şekilde de gösterilebilir. Yukarıda verdiğimiz örneği aşağıdaki gibi hücre diyagramı ile gösterebiliriz.

$$\underbrace{Zn(k)\ |\ Zn^{2+}(suda)(1M)}_{\text{anot}}\ \underbrace{\|}_{\text{tuz köprüsü}}\ \underbrace{Cu^{2+}(suda)(1M)\ |\ Cu(k)}_{\text{katot}}$$

$Zn(k)$ ile Zn^{2+} (suda) arasındaki dikey tek çizgi (I), katı hâldeki Zn metali ile sudaki Zn^{2+} iyonlarının faz ayrımını göstermektedir. Tam ortada bulunan dikey iki çizgi (II) ise anot ile katot arasındaki tuz köprüsünü simgelemektedir. Ortada bulunan dikey iki çizginin sol tarafı anodu, sağ tarafı ise katodu gösterir.



***Görsel 1.12: a.** Galvanik hücre **b.** Elektrolitik hücre (elektroliz sistemi)*

Zn – Cu Galvanik hücresindeki elektrolit çözeltilerin ($ZnSO_4$ ve $CuSO_4$) derişimi 1M olduğunda 1 atm basınçta 25°C'ta Galvanik hücrenin ürettiği elektrik enerjisi, voltmetre ile yaklaşık 1,1 volt olarak ölçülür (Görsel 1.12.a). İstemli olarak gerçekleşen bu olayı tersine döndürmek için ise enerji gereklidir. Eğer aynı sisteme 1,1 volttan daha büyük akım üreten bir güç kaynağı, Görsel 1.12.b'deki gibi bağlanırsa Galvanik hücredeki olayların tersi gerçekleşmeye başlar. Zn elektrodun olduğu taraf katot, Cu elektrodun olduğu taraf anottur.

Elektronların hareket yönü Cu elektrottan Zn elektroda doğru iken anyonlar Cu elektroda, katyonlar Zn elektroda doğru hareket eder. Elektrolitik hücreler, kendiliğinden gerçekleşmeyen (istemsiz) redoks tepkimelerinin elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmesini sağlar. Bu işleme **elektroliz** adı verilir. Elektroliz; uygun Galvanik hücrelerin yani pillerin şarj edilmesi, alüminyum metalinin elde edilmesi, bir objenin krom ile kaplanması gibi günlük yaşamda kullanım alanlarına sahiptir.

Araştırma

Ticari olarak Na metali ve Cl_2 gazı elde etmek için erimiş NaCl, elektroliz edilmektedir. Bunun yerine NaCl'ün sulu çözeltisi kullanılabilir mi? Araştırınız.

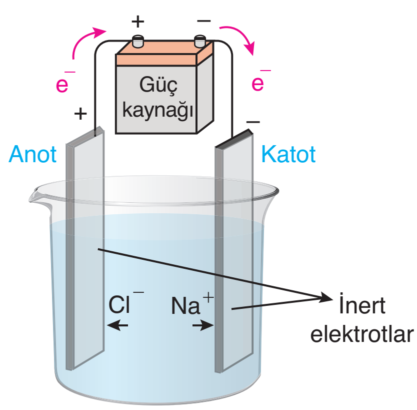
Görsel 1.12'deki Galvanik hücre ve elektrolitik hücrede kullanılan Cu ve Zn elektrotlar, redoks tepkimelerinde aktif olarak yer alır. Örneğin Galvanik hücrede zamanla Zn elektrodu aşınırken aynı sistem, elektroliz sistemine dönüştürüldüğünde Cu elektrodun zamanla aşındığı gözlemlenir.

Elektrotların redoks tepkimesine katılmadığı elektrokimyasal hücreler de vardır. Bunun için Na (metalik sodyum) ve Cl_2 (klor gazı) üretiminde kullanılan erimiş NaCl'ün elektrolitik hücresini inceleyelim.

Burada amaç, NaCl'den sodyum metali ve klor gazı elde etmek olduğu için ortamda redoks tepkimesine girecek başka maddelerin bulunmaması gerekir. Eğer redoks tepkimesine dâhil başka maddeler varsa redoks tepkimesinde istenilen ürünlerin yanında istenmeyen ürünler de oluşur. Bu nedenle elektrotların redoks tepkimesine dâhil olmayan inert elektrotlar olması çok önemlidir. Altın, platin gibi metaller ya da grafit gibi maddeler inert elektrot olarak kullanılmaktadır.

Sisteme bağlanan güç kaynağı (pil), bir elektrottan diğerine elektron aktarımını sağlar. Elektronların hareketi, Galvanik hücrede olduğu gibi anottan katoda doğrudur. Katoda doğru hareket eden elektronlar, katodun negatif yük ile yüklenmesini sağlar. Aynı zamanda anot, elektron kaybına uğradığı için pozitif yüklü hâle gelir. Ortamda bulunan anyonlar anoda, katyonlar da katoda doğru hareket eder.

Erimiş NaCl'ün elektrolizinde pozitif yüklü Na^+ iyonları, negatif yüklü katoda giderek sodyum metaline indirgenirken Cl^- iyonları da pozitif yüklü anoda giderek Cl_2 gazına yükseltgenir (Görsel 1.13). Böylece tepkimede inert elektrotların kullanılması, istenmeyen yan ürünlerin oluşmasını engeller.



$2Cl^-(s) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$ $\qquad$ $2Na^+(s) \rightarrow + 2e^- \rightarrow 2Na(s)$

***Görsel 1.13:** Erimiş NaCl'ün elektrolizi*

Bu elektrokimyasal hücrede elektrotlarda meydana gelen tepkimeler aşağıdaki gibidir.

Anot: $2Cl^-(s) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

Katot: $2Na^+(s) + 2e^- \rightarrow 2Na(s)$

Net tepkime: $2Na^+(s) + 2Cl^-(s) \rightarrow Cl_2(g) + 2Na(s)$

Elektrolitik sistemlerde elektrotların yükleri Galvanik hücrenin tam tersi olur. Elektrokimyasal hücrelerde her zaman inert elektrotlar kullanılmaz. Bazı redoks tepkimelerinde özellikle elektrotların tepkimede yer alması, elde edilecek ürün açısından gerekli olabilir. Örneğin bakır (II) sülfat çözeltisinin elektrolizi, bakır metalinin saflaştırılmasında kullanılan bir yöntemdir ve elektrotların redoks tepkimesine katılmaları gerekir. Bu yöntem sonraki bölümlerde daha ayrıntılı açıklanacaktır.

Yukarıdaki örnekler incelendiğinde Galvanik hücreler ile elektrolitik hücreler arasında bazı benzerliklerin ve farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu benzerlik ve farklılık özetlemek için Galvanik hücre (pil) ve elektrolitik hücreleri (elektroliz sistemi) aşağıdaki tabloda karşılaştıralım (Tablo 1.2).

Tablo 1.2: *Galvanik hücre (pil) ve elektrolitik hücre (elektroliz sistemi) arasındaki benzerlikler ve farklar*

	Pil	Elektroliz
Farklılıklar	Elektrik üretilir.	Elektrik harcanır.
	Redoks tepkimesi istemli olarak gerçekleşir.	Redoks tepkimesi istemsizdir.
	"–" yüklü elektrot anot, "+" yüklü elektrot katottur.	"–" yüklü elektrot katot, "+" yüklü elektrot anottur.
Benzerlikler	Her ikisi de elektrokimyasal hücredir.	
	Her ikisinde de elektronlar anottan katoda doğru hareket eder.	
	Her ikisinde de katotta indirgenme, anotta yükseltgenme meydana gelir.	

Alessandro Volta'nın icat ettiği ilk pil (Volta pili) hacimsel olarak çok yer kaplıyordu ve kullanışlı değildi. Görselde, günümüzde yeniden üretilmiş bir **Volta pili** görülmektedir.

John Frederick Daniell (Con Firederik Danyel), elektrot yapımında farklı maddeler kullanarak Volta'nın tasarımını geliştirdi. Bakır (II) sülfat ve çinko sülfat çözeltilerine bakır ve çinko çubuklar daldırılarak oluşturulan Galvanik hücre, **Daniell pili** olarak da bilinmektedir.

İngiliz kimyacı ve meteorolog John Frederick Daniell tarafından telgrafın geliştirilmesinde ihtiyaç duyulan Daniell pili, gerekli elektrik enerjisini sağlamak için 1836'da geliştirilmiştir.



Günümüzde yeniden üretilmiş bir Volta pili

Deney 1.1.

Çinko-Bakır Pili

Odak sorusu: Çinko ve bakır metalleri kullanılarak pil elde edilebilir mi?

Kavramsal Kısım

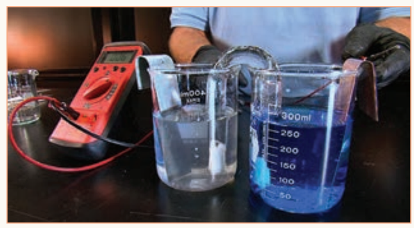
Odak sorusunu yanıtlayabilmek için aşağıda belirtilen kavram ve ilkeleri bilmeliyiz. Deneye başlamadan önce bu kavram ve ilkeleri araştırınız.

- İndirgenme ve yükseltgenme nedir? İndirgenme ve yükseltgenme olaylarını yarı tepkimeler ile gösteriniz.
- Bakır ve çinko elektrotlarının indirgenme potansiyelleri kaç volttur?
- İndirgenme potansiyellerine göre bakır ve çinko elektrotlarından hangisinin metalik aktifliği daha fazladır?

Deneyde Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 1 tane çinko plaka
- 1 tane bakır plaka
- Tuz köprüsü için NaCl çözeltisi
- 1 M $CuSO_4$ çözeltisi
- 1 M $ZnSO_4$ çözeltisi
- 2 adet 100 mL beher
- 1 tane cam U borusu
- Voltmetre
- 2 adet iletken kablo
- Pamuk
- Hassas terazi

Deneyin Yapılışı



1. 100 mL'lik beherlerden birine 80 mL $CuSO_4$ çözeltisi, diğerine 80 mL $ZnSO_4$ çözeltisi konulur.

2. Bakır ve çinko plakalar hassas terazi ile tartılır ve kütleleri kaydedilir.

3. Çinko plaka $ZnSO_4$ çözeltisine, bakır plaka $CuSO_4$ çözeltisine daldırılır.

4. Çinko elektrodu iletken kablo ile voltmetrenin bir ucuna, bakır elektrodu iletken bir kablo ile voltmetrenin diğer ucuna bağlanır.

Voltmetrenin ekranında herhangi bir değişim gözlemlediniz mi?

5. Cam U borusuna NaCl çözeltisi konulur. Borunun her iki ucu pamuk ile kapatılır. Ters çevrilerek borunun bir ucu bakır elektrodun olduğu behere, diğer ucu çinko elektrodun olduğu behere daldırılır.

6. Voltmetrenin ekranında gözlemlenen değerler, kayıtlar ve veri dönüşümleri tablosunda 0, 1, 5, 10 dakika aralıklarla kaydedilir.

7. Bakır ve çinko plakaların kütlesi, tablosuna deney tamamlandıktan sonra hassas terazide tekrar tartılır; kayıtlar ve veri dönüşümleri tablosuna kaydedilir.

Deneysel İddialar

Kayıtlar ve Veri Dönüşümleri

Zaman (dk.)	Pil Potansiyeli (V)
0	
1	
5	
10	

	Plakaların Kütlesi (g)
Deney başlangıcında	Çinko elektrot:
	Bakır elektrot:
Deney sonunda	Çinko elektrot:
	Bakır elektrot:

Bilgi İddiaları

1. Anot ve katot elektrotları belirleyiniz.

2. Anot ve katot elektrotlarda meydana gelen değişimlerin tepkime denklemlerini yazınız.

Anot elektrot	**Katot elektrot**
…………………. → …………..	…………………. → …………..

3. Zamanla pilin potansiyeli nasıl değişti? Bu değişimin nedenini açıklayınız.

4. Bakır ve çinko elektrotlarının yüzey alanlarını arttırmak pil potansiyelini etkiledi mi?

5. Tuz köprüsü kullanılmasaydı pil çalışır mıydı? Nedenini açıklayınız.

Farklı Durumlara Uygulama

Bu deneyde, çinko plaka ve çinko sülfat çözeltisi yerine alüminyum plaka ve alüminyum sülfat çözeltisi kullanılsaydı neler olurdu? Bununla ilgili aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

a. Bakır ve alüminyum elektrotlarından hangisi anot, hangisi katot elektrodu olurdu?

b. Kaç voltluk elektrik enerjisi elde edilirdi?

c. Net pil denklemi ne olurdu? Yazınız.

Bu deneyde, bakır ve çinko metalleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilebildiğini gözlemlediniz. Farklı metaller kullanıldığında elde edilen elektrik enerjisi farklı olacaktır. Elektrotlarda kullanılan metallerin indirgenme ve yükseltgenme potansiyelleri arasındaki fark ne kadar büyükse pilden elde edilen elektrik enerjisi de o kadar fazla olur.

Bilişim Teknolojileri

Çinko-bakır pili deneyine ilişkin aşağıda verilen e-içerikleri inceleyiniz ve edindiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

https://goo.gl/Tu1Fg3 Genel Ağ adresinden "EBA Ders'ten Sonuçlar" adlı bölümde aşağıda verilen konuları inceleyiniz.

- Galvanik (Voltaik) Hücreler
- Galvanik (Voltaik) Hücrelerin Çalışması ve Hücre Diyagramı

https://goo.gl/CfSfDy Genel Ağ adresinden aşağıda verilen konuları inceleyiniz.

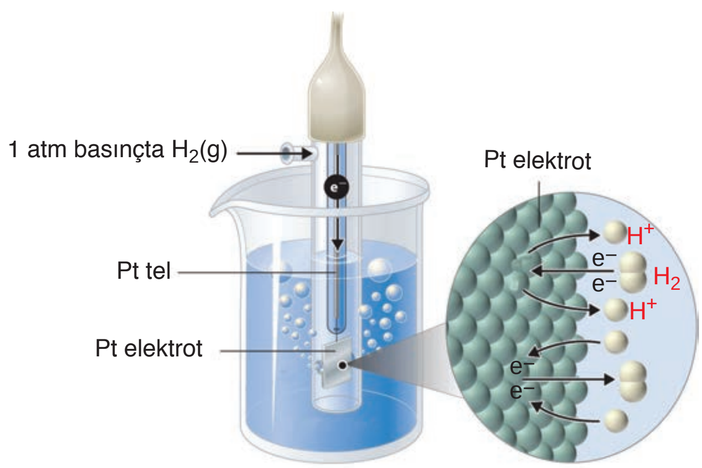
- Bakır Sülfat İçinde Çözünen Çinko'dan Redoks Tepkimesi
- Galvanik / Voltaik Hücreler
- Elektrotlar ve Galvanik Hücrelerin Voltajı

1.3. ELEKTROT POTANSİYELLERİ

Elektrokimyasal hücrelerde meydana gelen redoks tepkimelerinin istemli ya da istemsiz olabileceğinden önceki bölümlerde bahsetmiştik. Redoks tepkimelerinin istemli ya da istemsiz olduğu standart elektrot potansiyelleri kullanılarak belirlenir. Bu bölümde standart yarı hücre indirgenme potansiyellerinin nasıl hesaplandığı ve redoks tepkimelerinde nasıl kullanıldığı üzerinde durulacaktır.

a. Standart Yarı Hücre İndirgenme Potansiyelleri

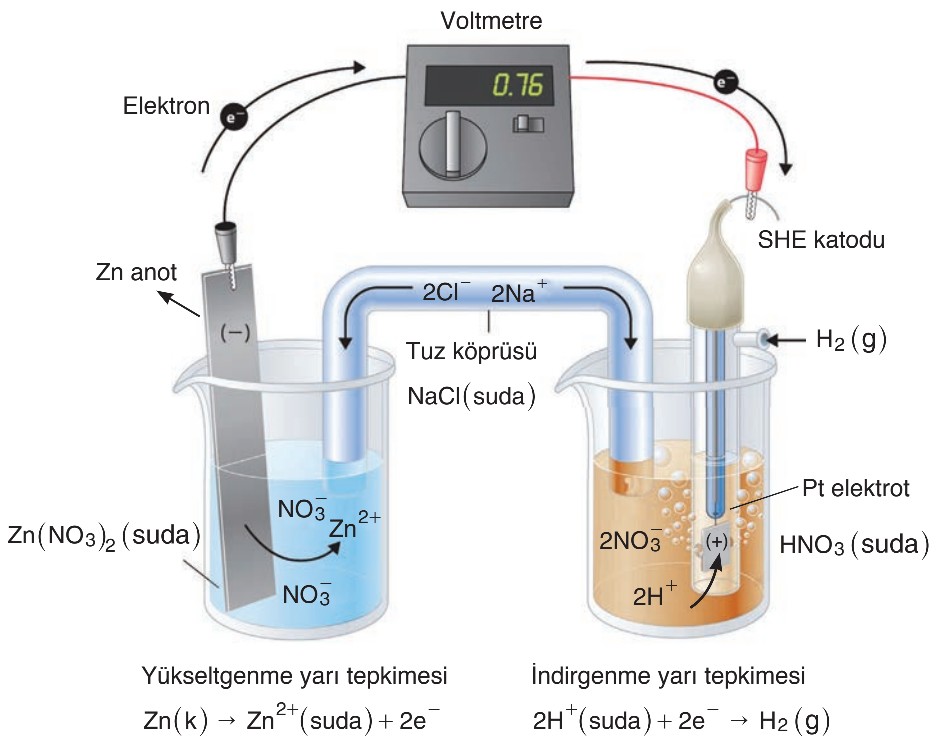
Galvanik hücrelerde redoks tepkimesi kendiliğinden gerçekleşir ve elektrik enerjisi açığa çıkar. Bu elektrik enerjisi, elektrotlar arasındaki potansiyel farkından kaynaklanır. Bu potansiyel farkı **elektromotor kuvveti (emk)** ya da **hücre potansiyeli** olarak adlandırılır ve $\mathbf{E_{pil}}$ şeklinde gösterilir. Oda koşullarında (25°C ve 1 atm basınç) hesaplanan hücre potansiyeline ise **standart hücre potansiyeli** denir ve bu, $\mathbf{E^{o}_{pil}}$ ile gösterilir. Laboratuvar ortamındaki uygulamalarda hücre potansiyeli voltmetre ile ölçülür ancak her zaman deneysel uygulama yapılamaz. Teorik çalışmalarda iki yarı hücrenin oluşturduğu bir pilde hücre potansiyelini hesaplamak için yarı hücrelerin potansiyellerinin bilinmesi gerekir. Yarı hücrelerin potansiyellerini tek başına ölçmek mümkün değildir. Ancak bir elektrodun potansiyeli sıfır (0) kabul edilirse diğer elektrotların potansiyelleri, bu elektrotla karşılaştırılarak hesaplanabilir. Bunun için içerisine platin tel daldırılmış 1M H^+ iyonu içeren bir çözeltiye (örneğin 1M HCl çözeltisi) 1 atm basınçta H_2 gazı gönderilir. Bu şekilde oluşturulan elektrodun 25°C'taki potansiyeli bilim insanları tarafından sıfır (0) kabul edilmiştir. Bu elektrot **standart hidrojen elektrot (SHE)** olarak adlandırılır (Görsel 1.14).



Görsel 1.14: *Standart hidrojen elektrot*

SHE'de H^+ iyonları ile $H_2(g)$ molekülleri denge hâlindedir. H_2 moleküllerinin yükseltgenerek H^+ iyonlarına dönüşmesi ya da H^+ iyonlarının indirgenerek H_2 moleküllerine dönüşmesi platin elektrodun yüzeyinde gerçekleşir. Sudan gelen iyonlar, miktarı çok az olduğu için ihmal edilir.

Bir Galvanik hücrede elektrotlardan biri SHE olursa diğer elektrodun potansiyeli bulunabilir. 25°C'ta 1M $Zn(NO_3)_2$ çözeltisine daldırılmış Zn elektrot ile SHE'den oluşan bir Galvanik hücre hazırlayalım.



***Görsel 1.15:** SHE kullanılarak bir elektrodun potansiyelinin hesaplanması*

Görsel 1.15'te verilen Galvanik hücrenin potansiyeli oda koşullarında 0,76 V olarak ölçülür. Başka bir ifade ile katot elektrodun indirgenme potansiyeli ile anot elektrodun yükseltgenme potansiyellerinin toplamı 0,76 V'tur. Pil potansiyelinin hesaplanmasına ilişkin eşitlik aşağıdaki gibi gösterilir.

$$E^o_{pil} = \underbrace{E^o_{2H^+ \rightarrow H_2(g)}}_{katot} + \underbrace{E^o_{Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda)}}_{anot} = 0,76 \text{ V}$$

Bu Galvanik hücrede Zn elektrodunun zamanla aşındığı gözlenir. Bu nedenle Zn elektrotta yükseltgenme meydana gelmiştir ve Zn elektrodu, anottur. Metalik Zn, Zn^{2+} iyonlarına dönüşür. SHE ise katottur ve indirgenme meydana gelmiştir. H^+ iyonları H_2 gazına dönüşmüştür. Anot ve katotta meydana gelen tepkimeler aşağıdaki gibidir.

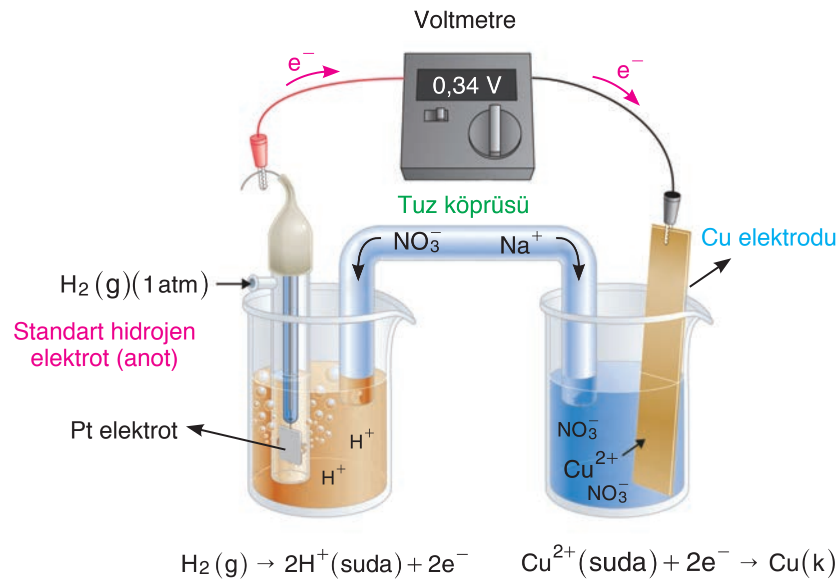
Anot: $Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + \cancel{2e^-}$ $\quad E^o_{Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda)} = ?$

Katot: $2H^+(suda) + \cancel{2e^-} \rightarrow H_2(g)$ $\quad E^o_{2H^+ \rightarrow H_2(g)} = 0$

Net pil denklemi: $Zn(k) + 2H^+(suda) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + H_2(g)$ $\quad E^o_{pil} = 0,76 \text{ V}$

Yukarıdaki değerlerden yola çıkılarak SHE potansiyeli sıfır "0" olduğundan $E^o_{Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda)} = 0,76$ V olarak hesaplanır. Bu değer, Zn metalinin Zn^{2+} iyonlarına yükseltgenmesine ait potansiyeli ifade eder yani Zn/Zn^{2+} yükseltgenme potansiyeli, 0,76 V'tur.

SHE kullanılarak hesaplanan elektrot potansiyelleri ile başka elektrotların potansiyelleri de bulunabilir. 25°C'ta 1M $Cu(NO_3)_2$ çözeltisine daldırılmış Cu elektrodu ile SHE'den oluşan bir Galvanik hücre hazırlayalım (Görsel 1.16).



***Görsel 1.16:** SHE kullanılarak bakır elektrodunun potansiyelinin hesaplanması*

Anot:	$H_2(g) \rightarrow 2H^+(suda) + \cancel{2e^-}$	$E^o_{H_2(g) \rightarrow 2H^+(suda)} = 0$
Katot:	$Cu^{2+}(suda) + \cancel{2e^-} \rightarrow Cu(k)$	$E^o_{Cu^{2+}(suda) \rightarrow Cu(k)} = ?$

Net pil denklemi: $Cu^{2+}(suda) + H_2(g) \rightarrow Cu(k) + 2H^+(suda) \quad E^o_{pil} = 0,34V$

Pil potansiyeline ilişkin eşitlik aşağıdaki gibi gösterilir.

$$E^o_{pil} = \underbrace{E^o_{Cu^{2+}(suda) \rightarrow Cu(k)}}_{katot} + \underbrace{E^o_{H_2(g) \rightarrow 2H^+(suda)}}_{anot\,=\,0\,V} = 0,34\ V$$

Cu^{2+} iyonlarının indirgenme potansiyeli $\left(E^o_{Cu^{2+}(suda) \rightarrow Cu(k)}\right) = 0,34\ V$ bulunur.

Cu ve Zn elektrotlarının potansiyelleri SHE'ye göre hesaplandığında Cu elektrodu için indirgenme potansiyeli, Zn elektrot için ise yükseltgenme potansiyeli bulunmuştur. Cu elektrot SHE ile karşılaştırıldığında indirgenme eğiliminde iken Zn elektrot SHE ile karşılaştırıldığında yükseltgenme eğilimindedir. SHE potansiyelinden yola çıkılarak oda koşullarında elektrotların potansiyelleri ölçülmüş ve hesaplamalarda karışıklık olmaması için tüm potansiyeller, indirgenme potansiyeli olarak belirtilmiştir. 25°C'ta, 1 atm basınçta, 1M çözeltide ölçülen indirgenme potansiyellerine **standart indirgenme potansiyeli** denir. Bazı elektrotların standart indirgenme potansiyelleri sayfa 30'da Tablo 1.3'te verilmiştir.

***Tablo 1.3:** 25°C'taki bazı indirgenme potansiyelleri**

	İndirgenme Yarı Tepkimesi	E°(V)	
Yükseltgen özellik artar. ↑	$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(suda)$	+2,87	İndirgen özellik artar. ↓
	$MnO_4^-(suda) + 8H^+(suda) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(suda) + 4H_2O(s)$	+1,51	
	$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(suda)$	+1,36	
	$O_2(g) + 4H^+(suda) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(s)$	+1,23	
	$Br_2(s) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(suda)$	+1,07	
	$NO_3^-(suda) + 4H^+(suda) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O(s)$	+0,96	
	$Ag^+(suda) + e^- \rightarrow Ag(k)$	+0,80	
	$Fe^{3+}(suda) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(suda)$	+0,77	
	$MnO_4^-(suda) + 2H_2O(s) + 3e^- \rightarrow MnO_2(k) + 4OH^-(suda)$	+0,59	
	$I_2(k) + 2e^- \rightarrow 2I^-(suda)$	+0,53	
	$O_2(g) + 2H_2O(s) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(suda)$	+0,40	
	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu(k)$	+0,34	
	$Cu^{2+}(suda) + e^- \rightarrow Cu^+(suda)$	+0,15	
	$2H^+(suda) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0,00	
	$Pb^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Pb(k)$	−0,13	
	$Ni^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Ni(k)$	−0,25	
	$Co^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Co(k)$	−0,28	
	$Cd^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cd(k)$	−0,40	
	$Fe^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Fe(k)$	−0,44	
	$Zn^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Zn(k)$	−0,76	
	$2H_2O(s) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(suda)$	−0,83	
	$Mn^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Mn(k)$	−1,18	
	$Al^{3+}(suda) + 3e^- \rightarrow Al(k)$	−1,66	
	$Mg^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Mg(k)$	−2,37	
	$Na^+(suda) + e^- \rightarrow Na(k)$	−2,71	
	$Ca^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Ca(k)$	−2,87	
	$K^+(suda) + e^- \rightarrow K(k)$	−2,93	
	$Li^+(suda) + e^- \rightarrow Li(k)$	−3,05	

* İndirgenme potansiyelleri, çözelti derişiminin 1 M ve basıncın 1 atm olduğu koşullarda belirlenmiştir.

Sayfa 30'da Tablo 1.3 incelendiğinde indirgenme potansiyellerine bakılarak bazı bilgilere ulaşılabilir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

• Bazı elektrotların standart indirgenme potansiyellerinin pozitif, bazılarının ise negatif değerde olduğu görülmektedir. İndirgenme potansiyeli ne kadar büyükse indirgenme eğilimi de o kadar fazladır.

Örneğin tabloda standart indirgenme potansiyeli en büyük olan, $F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-$ yarı tepkimesidir. İndirgenme eğilimi en yüksek madde, F_2 gazıdır. Bu, aynı zamanda en kuvvetli yükseltgendir.

• İndirgenme yarı tepkimesi ters çevrilirse yükseltgenme yarı tepkimesi elde edilir. İndirgenme potansiyeli de işaret değiştirir; elde edilen değer, yükseltgenme potansiyelidir.

$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-$	$E^o_{indirgenme} = +2,87\ V$	İndirgenme yarı tepkimesi
$2F^- \rightarrow F_2(g) + 2e^-$	$E^o_{yükseltgenme} = -2,87\ V$	Yükseltgenme yarı tepkimesi

• Standart pil potansiyeli sadece standart indirgenme potansiyelleri ile de hesaplanabilir. Katot elektrodun standart indirgenme potansiyeli ile anot elektrodun standart indirgenme potansiyeli arasındaki fark, standart pil potansiyelini verir.

$$E^o_{pil} = E^o_{katot} - E^o_{anot}$$

$Zn(k)\ |\ Zn^{2+}(suda)\ (1M)\ \|\ Cu^{2+}(suda)\ (1M)\ |\ Cu(k)$ pilinin standart pil potansiyeli, sayfa 30'da Tablo 1.3'te verilen standart indirgenme potansiyelleri ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E^o_{pil} = \underbrace{0,34}_{katot} - \underbrace{(-0,76)}_{anot} = 1,1\,V$$

• Yarı hücre tepkimesindeki katsayılar herhangi bir sayı ile genişletilirse ya da sadeleştirilirse o yarı hücre tepkimesinin potansiyeli bu değişimden etkilenmez.

$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-$	$E^o_{indirgenme} = +2,87$ V	İndirgenme yarı tepkimesi
$2F_2(g) + 4e^- \rightarrow 4F^-$	$E^o_{indirgenme} = +2,87$ V	İndirgenme yarı tepkimesi

Standart indirgenme potansiyelleri yorumlanarak maddelerin bazı özellikleri ile ilgili bilgilere ulaşılabilir. Metallerin tepkimeye girme eğilimlerinin sıralanmasında (metalik aktiflik), indirgenme ya da yükseltgenme eğilimlerinin nasıl değiştiğini ve redoks tepkimelerinin istemli veya istemsiz olup olmadığını belirlememizde standart indirgenme potansiyelleri büyük kolaylık sağlar.

b. Metallerin Aktiflik Sırası

Metaller elektron verme, ametaller ise elektron alma eğilimleri yüksek maddelerdir. Standart indirgenme potansiyellerini gösteren Tablo 1.3 (sayfa 30) incelendiğinde genel olarak metallerin indirgenme potansiyellerinin negatif, ametallerin indirgenme potansiyellerinin pozitif olduğu görülür. Standart indirgenme potansiyellerini kullanarak metallerin elektron verme eğilimlerini (metalik aktiflik) sıralayabiliriz. Standart indirgenme potansiyellerini yükseltgenme potansiyellerine dönüştürerek işlem yapmak, metalik aktifliklerin karşılaştırılmasını kolaylaştırır. Bunu bir örnekle açıklayalım.

Örnek

Cu^{2+}, Na^+ ve Zn^{2+} iyonlarının standart indirgenme potansiyeli aşağıda verilmiştir.

$Cu^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cu(k)$	$E^o_{ind} = +0,34$ V
$Na^+(suda) + e^- \rightarrow Na(k)$	$E^o_{ind} = -2,71$ V
$Zn^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Zn(k)$	$E^o_{ind} = -0,76$ V

Buna göre Cu, Na ve Zn metallerini, indirgenme potansiyellerinden yararlanarak metalik aktifliklerine göre sıralayınız.

(E^o_{ind} = standart indirgenme potansiyeli, $E^o_{yük}$ = standart yükseltgenme potansiyeli)

Strateji

İndirgenme potansiyeli büyük olan maddenin indirgenme eğilimi (elektron alma, ametalik aktiflik) büyüktür. Yükseltgenme potansiyeli büyük olan maddenin ise yükseltgenme eğilimi (elektron verme, metalik aktiflik) büyüktür.

Çözüm

Metallerin yükseltgenme eğilimlerinin (metalik aktiflikleri) sıralanması istendiği için örnekte verilen indirgenme potansiyelleri ters çevrilerek yükseltgenme potansiyelleri elde edilir.

$$Cu(k) \rightarrow Cu^{2+}(suda) + 2e^- \qquad E^o_{yük} = -0,34\ V$$

$$Na(k) \rightarrow Na^{+}(suda) + e^- \qquad E^o_{yük} = +2,71\ V$$

$$Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + 2e^- \qquad E^o_{yük} = +0,76\ V$$

Yükseltgenme potansiyeli büyük olan metalin diğerlerine göre metalik aktifliği daha fazladır. Metalik aktiflik sıralaması aşağıdaki gibi elde edilir.

Na > Zn > Cu

Alıştırma

Cd^{2+}, Mg^{2+} ve Al^{3+} iyonlarının standart indirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

$$Cd^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cd(k) \qquad E^o_{ind} = -0,40\ V$$

$$Mg^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Mg(k) \qquad E^o_{ind} = -2,37\ V$$

$$Al^{3+}(suda) + 3e^- \rightarrow Al(k) \qquad E^o_{ind} = -1,66\ V$$

Buna göre Cd, Mg ve Al metallerini metalik aktifliklerine göre sıralayınız.

İndirgenme potansiyelleri, metallerin bazı redoks tepkimelerinin açıklanmasında da kullanılabilir. Metaller genel olarak asitlerle tepkime vermeye eğilimlidir. Ancak her zaman bu mümkün olmayabilir.

Örnek

Zn metali HCl çözeltisine daldırıldığında HCl ile tepkimeye girerken Cu metali HCl ile tepkime vermemektedir. Bu durumu açıklayalım.

Strateji

Metallerin aktiflikleri, indirgenme potansiyelleri göz önüne alınarak karşılaştırılabilir.

Çözüm

Metallerin aktifliklerinin indirgenme potansiyelleri kullanılarak açıklanabileceğini belirtmiştik. Tepkimeleri daha yakından inceleyerek indirgenme potansiyellerini de dikkate alalım.

Zn metali HCl ile aşağıdaki gibi bir tepkime verir.

$$Zn(k) + 2HCl(suda) \rightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$$

Bu tepkimede Zn metali Zn^{2+} iyonuna yükseltgenirken H^+ iyonları H_2 gazına indirgenmektedir. Ancak Cu metali HCl ile tepkimeye girmemektedir. Zn^{2+}, Cu^{2+} ve H^+ iyonlarının indirgenme potansiyelleri ters çevrilerek bunların yükseltgenme potansiyelleri elde edilir. Elde edilen yükseltgenme potansiyellerini inceleyelim.

$$Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + 2e^- \qquad E^o_{yük} = 0,76V$$

$$H_2(g) \rightarrow 2H^+(suda) + 2e^- \qquad E^o_{yük} = 0\ V$$

$$Cu(k) \rightarrow Cu^{2+}(suda) + 2e^- \qquad E^o_{yük} = -0,34\ V$$

Zn metalinin yükseltgenme potansiyeli, ortamdaki H^+ iyonlarının yükseltgenme potansiyelinden büyük olduğu için Zn metali, H^+ iyonlarının indirgenmesini sağlar ve HCl ile tepkimeye girer. Ancak Cu metalinin yükseltgenme potansiyeli, H^+ iyonlarının yükseltgenme potansiyelinden daha küçük olduğu için Cu metali, H^+ iyonlarını indirgeyemez. Bu nedenle Cu metali HCl ile tepkimeye giremez. Sonuç olarak Zn metalinin yükseltgenme eğilimi, Cu metaline göre daha yüksektir. Yani Zn metali, Cu metalinden daha aktif bir metaldir.

Alıştırma

$ZnSO_4$ çözeltisi, saf demirden ya da saf alüminyumdan yapılmış bir kapta saklanabilir mi? Aşağıda verilen indirgenme potansiyellerinden yararlanarak cevabınızı açıklayınız.

$$Zn^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Zn(k) \qquad E^0_{ind} = -0,76\ V$$

$$Fe^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Fe(k) \qquad E^0_{ind} = -0,44\ V$$

$$Al^{3+}(suda) + 3e^- \rightarrow Al(k) \qquad E^0_{ind} = -1,66\ V$$

c. İki Ayrı Yarı Hücre Arasındaki İstemli Redoks Tepkimesi

Bir pilde meydana gelen indirgenme ve yükseltgenme tepkimeleri istemli olarak gerçekleşir. Bu olayların sonucunda pil, elektrik üretir. Bu nedenle pil potansiyeli pozitif değerde olmalıdır. Bir pilin potansiyeli negatif olamaz. Negatif pil potansiyeli, o pilin çalışmayacağı anlamına gelir. Bu durumu bir örnekle açıklayalım.

Örnek

Net pil denklemi aşağıda verilen bir pilin standart koşullarda çalışıp çalışmayacağını irdeleyelim.

$$2Ag^{+}(suda) + Zn(k) \rightarrow 2Ag(k) + Zn^{2+}(suda)$$

Strateji

Bir pilin çalışabilmesi yani istemli olması için net pil denklemine ait potansiyelin pozitif olması gerekir.

Çözüm

Zn^{2+} ve Ag^{+} indirgenme potansiyelleri kullanılarak pil potansiyeli hesaplanır. Bu iyonların indirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

$$Zn^{2+}(suda) + 2e^{-} \rightarrow Zn(k) \qquad E^{o}_{ind} = -0,76 \text{ V}$$

$$Ag^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Ag(k) \qquad E^{o}_{ind} = +0,80 \text{ V}$$

İndirgenme potansiyelleri, örnekte verilen tepkime denklemine göre düzenlenir. Tepkimeye göre Ag^{+} iyonları metalik Ag'e indirgenirken Zn metali, Zn^{2+} iyonlarına yükseltgenmektedir. Zn için yükseltgenme yarı tepkimesi kullanılmalıdır. Bu nedenle birinci yarı tepkime ters çevrilir. Alınan-verilen elektron sayısını eşitlemek için ikinci tepkime 2 katsayısı ile genişletilir.

$Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda) + 2e^-$ $\quad E^o_{yük} = +0,76\ V$

$2/Ag^+(suda) + e^- \rightarrow Ag(k)$ $\quad E^o_{ind} = +0,80\ V$

Net pil denklemi: $2Ag^+(suda) + Zn(k) \rightarrow 2Ag(k) + Zn^{2+}(suda)$ $E^o_{pil} = (+0,76) + (+0,80) = +1,56\ V$

Net pil potansiyeli (+1,56 V) pozitif bir değerde olduğu için redoks tepkimesi istemli gerçekleşir. Pil çalışır.

Alıştırma

$$2Al(k) + 3Cu^{2+}(suda) \rightarrow 3Cu(k) + 2Al^{3+}(suda)$$

Buna göre verilen tepkimenin standart koşullarda istemli olup olmadığını belirleyiniz. İndirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

$Al^{3+}(suda) + 3e^- \rightarrow Al(k)$ $\quad E^o_{ind} = -1,66\ V$

$Cu^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cu(k)$ $\quad E^o_{ind} = +0,34\ V$

Hatırlarsanız “Elektrotlar ve Elektrokimyasal Hücreler” bölümünde indirgenmenin olduğu elektrot katot, yükseltgenmenin gerçekleştiği elektrot anot olarak tanımlanmıştı. Elektrotların sadece indirgenme potansiyelleri verildiği için bir Galvanik hücrede hangi elektrodun anot, hangi elektrodun katot olduğunu belirlemek gerekir. İstemli bir redoks tepkimesinde potansiyel pozitiftir. Bu noktadan hareketle indirgenme potansiyeli büyük olan elektrot katot, indirgenme potansiyeli küçük olan (yükseltgenme potansiyeli büyük olan) elektrot anottur.

Örnek

Bir Galvanik hücrede yer alan ve aşağıda yarı tepkimeleri ile indirgenme potansiyelleri verilen elektrotları anot ve katot olarak tanımlayalım.

$Ag^+(suda) + e^- \rightarrow Ag(k)$ $\quad E^o_{ind} = 0,80\ V$ *

$Fe^{3+}(suda) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(suda)$ $\quad E^o_{ind} = 0,77\ V$

* Pozitif potansiyel değerleri için + işareti kullanılmayabilir. Bundan sonraki bölümlerde + işareti kullanılmayacaktır.

Strateji

İndirgenme potansiyeli büyük olan indirgenir. Yükseltgenme potansiyeli büyük olan (indirgenme potansiyeli küçük olan) yükseltgenir.

Çözüm

Galvanik hücreden bahsedildiği için net pil tepkimesi istemli olmalıdır. Bu nedenle net pil tepkimesinin potansiyeli pozitif değerde olmalıdır.

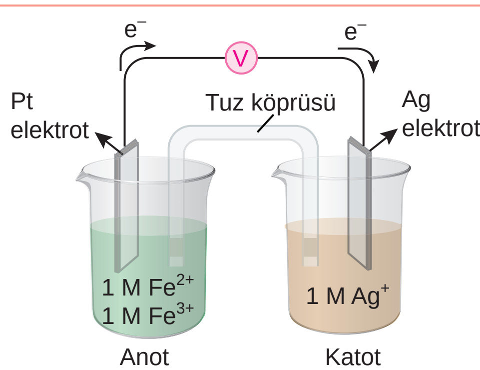
Ag^{+} iyonları, indirgenme potansiyeli büyük olduğu için katotta indirgenir. Fe^{2+} iyonları ise anotta yükseltgenir. Bu nedenle ikinci indirgenme yarı tepkimesi ters çevrilerek yükseltgenme yarı tepkimesi olarak yazılır. Anot ve katot tepkimeleri aşağıdaki gibidir.

Anot: $Fe^{2+}(suda) \rightarrow Fe^{3+}(suda) + e^{-}$ $\quad E^{o}_{yük} = -0,77$ V

Katot: $Ag^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Ag(k)$ $\quad E^{o}_{ind} = 0,80$ V

Net pil denklemi: $Ag^{+}(suda) + Fe^{2+}(suda) \rightarrow Ag(k) + Fe^{3+}(suda)$ $\quad E^{o}_{hücre} = 0,03$ V

Bu Galvanik hücrede elektronlar, Ag elektroda doğru hareket eder (Görsel 1.17).



Görsel 1.17: *Galvanik hücre*

Ag elektrodun üzerinde zamanla Ag metali birikir. Anotta ise inert bir elektrot (Pt) kullanıldığı için Pt elektrot, redoks tepkimesinde herhangi bir değişime uğramaz. Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgendiği için Fe^{2+} iyonlarının derişimi azalırken Fe^{3+} iyonlarının derişimi artar.

Pil diyagramı aşağıdaki gibi yazılır.

$$Pt(k) \mid Fe^{2+}(suda)(1M),\ Fe^{3+}(suda)(1M) \parallel Ag^{+}(suda)(1M) \mid Ag(k)$$

Alıştırma

Standart $Ni^{2+}(suda) / Ni(k)$ ve $Ag^{+}(suda) / Ag(k)$ elektrotları kullanılarak hazırlanan bir pilde, zamanla Ag elektrodunun kütlesinin arttığı görülmektedir. Buna göre aşağıdaki çalışmaları yapınız.

1) Hangi elektrodun anot, hangi elektrodun katot olduğunu belirleyiniz.

2) Katot ve anotta meydana gelen yarı tepkimeleri yazınız.

3) Net pil denklemini yazarak pil potansiyelini bulunuz.

Ag^{+}'ün ve Ni^{2+}'in indirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

$Ag^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Ag(k)$ $\qquad E^{o}_{ind} = 0,80\ V$

$Ni^{2+}(suda) + 2e^{-} \rightarrow Ni(k)$ $\qquad E^{o}_{ind} = -0,25\ V$

ç. Standart Olmayan Koşullarda Elektrot Potansiyellerinin Hesaplanması

Galvanik hücre olarak bildiğimiz piller sonsuza kadar elektrik üretmez. Kullandığımız pillerin zamanla zayıfladığını ve bittiğini günlük hayatımızda çoğu zaman tecrübe etmişizdir. Tepkimeye giren ya da tepkimede oluşan maddelerin zamanla derişimlerindeki değişim, sıcaklık ve basınç (gaz elektrotlar için) gibi faktörler pil potansiyelinin değişmesine neden olur. Buraya kadar olan bölümde Galvanik hücreler için standart indirgenme potansiyellerini (sıcaklık 25°C, basınç 1 atm ve çözelti derişimleri 1 M) kullandık. Standart indirgenme potansiyelleri, çözelti derişimlerinin 1M olduğu durumlar için geçerlidir. Buna rağmen deneysel çalışmalarda her zaman bu koşullar tam olarak sağlanamayabilir.



Görsel 1.18: *Walther Hermann Nernst (1864-1941), ünlü Alman kimya bilim insanıdır. Göttingen Üniversitesinde Fizikokimya Enstitüsünün kurucusudur. Termodinamiğin üçüncü yasasını keşfetmiş ve 1920 yılında termokimya alanında yaptığı çalışmalar nedeniyle Nobel Ödülü kazanmıştır.*

Alman kimyacı Walther Hermann Nernst (Voltır Hermen Nernist, Görsel 1.18), hücre potansiyelinin derişim ve sıcaklığa bağlı değişimini açıklayarak **Nernst eşitliği** olarak bilinen bir formül geliştirmiştir.

Nernst, Galvanik hücrelerdeki hücre tepkimesinin (net pil denkleminin) bir denge tepkimesi olduğunu, dengeye ulaşan bir hücre tepkimesinde pilin elektrik üretim gücünün ortadan kalktığını belirtmiştir. Net pil denkleminde girenlerin derişimini artırmak veya ürünlerin derişimini azaltmak pil potansiyelini artırır. Pil tepkimeleri ekzotermik tepkimelerdir. Sıcaklığın artırılması pil potansiyelini düşürür.

Nernst eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$E_{pil} = E^{o}_{pil} - \frac{0,0592\,^{*}}{n} \log Q$$

E_{pil} : Pil potansiyeli

E^{o}_{pil} : Standart pil potansiyeli

Q : Denge kesri

n : Alınan ya da verilen elektron sayısı

Q denge kesrinde, ürünlerdeki maddelerin derişimlerinin girenlerdeki maddelerin derişimlerine oranı belirtilir. Denge kesrinde yer alan maddelerin varsa katsayıları üslü ifade olarak belirtilir.

$$Q = \frac{[\text{ürünler}]}{[\text{girenler}]}$$

!

Nernst eşitliğinde kullanılan Q, denge kesrini ifade etmektedir. Denge kesirlerinde katı ve saf sıvı hâldeki maddeler yer almaz.

Bu durumu bir örnek ile açıklayalım.

Örnek

Oda koşullarında bulunan aşağıdaki pilin pil potansiyelini hesaplayalım.

$$Zn(k)\mid Zn^{2+}(suda)(0,1M)\parallel Cu^{2+}(suda)(1M)\mid Cu(k)$$

Strateji

Galvanik hücrede gerçekleşen tepkimelerde yer alan maddelerin derişimleri 1 M'dan farklı olursa Nernst eşitliğine göre hesaplama yapılır. Hesaplanan pil potansiyeli, standart pil potansiyelinden farklıdır.

---

* Hesaplamalarda işlem kolaylığı olması için 0,0592 değeri yerine, 0,06 değeri kullanılacaktır.

Çözüm

Anot ve katot tepkimeleri ile net pil denklemi, oda koşullarında, 1 M çözelti derişimi için aşağıdaki gibidir.

Anot:	$Zn(k) \rightarrow Zn^{2+}(suda)(1M) + 2e^-$	$E^o_{yük} = 0,76$ V
Katot:	$Cu^{2+}(suda)(1M) + 2e^- \rightarrow Cu(k)$	$E^o_{ind} = 0,34$ V
Net pil denklemi:	$Zn(k) + Cu^{2+}(suda)(1M) \rightarrow Zn^{2+}(suda)(1M) + Cu(k)$	$E^o_{pil} = 1,1$ V

Oda koşullarında 1 M çözelti derişimleri için hesaplanan standart pil potansiyeli, 1,1 V'tur. Bizden istenen aşağıdaki tepkimenin potansiyelidir. Bu tepkimede Zn^{2+} iyonları derişiminin 0,1 M olduğuna dikkat ediniz.

$$Zn(k) + Cu^{2+}(suda)(1M) \rightarrow Zn^{2+}(suda)(0,1M) + Cu(k) \qquad E_{pil} = ?$$

Q, bir denge kesri olduğu için katı hâldeki maddeler denge kesrinde yer almaz.

$$Q = \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} = \frac{0,1}{1} = 0,1$$

Alınan-verilen elektron sayısı 2 olduğu için n = 2 alınır.

Nernst eşitliğini kullanarak pil potansiyelini bulalım.

$$E_{pil} = \underbrace{E^o_{pil}}_{1,1} - \frac{0,06}{\underbrace{n}_{2}} \log \underbrace{Q}_{0,1}$$

$E_{pil} = 1,1 - \dfrac{0,06}{2}\log 0,1 = 1,1 - (-0,03)$ eşitliğinden $E_{pil} = 1,13$ V bulunur.

Zn – Cu Galvanik hücresinde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, katı hâldeki maddelerin (Zn ve Cu elektrot) pil potansiyeline etki etmemesidir. Yani elektrotların yüzey alanını ya da miktarını artırmak, pil potansiyelini değiştirmez.

Alıştırma

Oda koşullarında bir elektrokimyasal hücrede aşağıdaki tepkime gerçekleşiyor.

$Pb(k) + 2Ag^+(suda) \rightarrow Pb^{2+}(suda) + 2Ag(k)$

Bu tepkimeye göre $[Ag^+] = 0,1M$ ve $[Pb^{2+}] = 1M$ olması durumunda hücre potansiyelini hesaplayınız.

İndirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

$Ag^+(suda) + e^- \rightarrow Ag(k)$ $\qquad E^o = 0,80$ V

$Pb^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Pb(k)$ $\qquad E^o = -0,13$ V

1.4. KİMYASALLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Galvanik pillerde meydana gelen redoks tepkimeleriyle elde ettiğimiz elektrik enerjisini günlük yaşantımızda kullanmaktayız. Ancak kimyasallardan belirli kapasitede elektrik üreten bu tür pillerin belirli bir kullanım ömrü vardır yani bir süre sonra piller elektrik üretemez. Bu bölümde bazı Galvanik pillerin voltajını ve kullanım ömrünü örneklerle irdeleyeceğiz.

1.4.1. Galvanik Pillerin Voltajı ve Kullanım Ömrü

Pil potansiyelinin iyon derişimlerine bağlı olarak değiştiğini daha önce öğrendik. Yarı hücrelerde aynı maddeleri, farklı derişimlerde kullanarak bir Galvanik hücre oluşturabiliriz. Bu tür Galvanik hücrelere **derişim pilleri** denir.

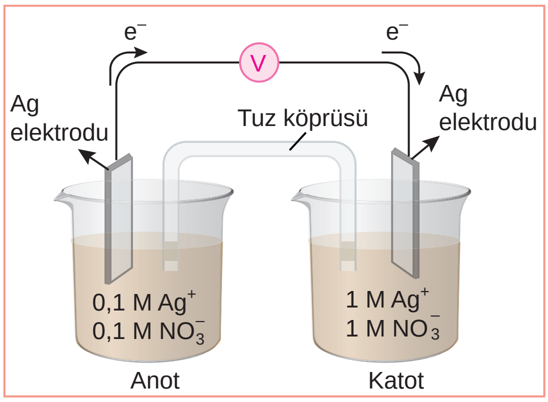
Bu durumu bir örnekle açıklayalım. İki ayrı yarı hücrede, $AgNO_3$ çözeltilerine Ag metali daldırarak bir pil hazırlayalım. Bu derişim pilindeki yarı tepkime aşağıdaki gibidir.

$$Ag^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Ag(k) \qquad E^{o} = 0,80\ V$$

Eğer çözelti derişimleri eşitse anot ve katot arasında bir potansiyel farkı oluşmaz ve pil potansiyeli sıfır (0) olur.

$$E^{o}_{pil} = E^{o}_{katot} - E^{o}_{anot} = 0,80 - 0,80 = 0$$

Pil hücrelerinde $AgNO_3$ çözeltilerinin derişimleri farklı olursa bir potansiyel farkı oluşur ve elektrik enerjisi elde edilir. Bu durumda acaba hangi yarı hücre katot, hangi yarı hücre anot olur? Elektronlar hangi elektrottan, hangi elektroda doğru hareket eder? Pildeki elektrik üretimi ne zamana kadar sürer?



Görsel 1.19: *Derişim pili*

Görsel 1.19'daki gibi $AgNO_3$ derişimlerini 0,1 M ve 1 M olacak şekilde ayarlayalım. Derişimin az olduğu tarafta Ag elektrodunun aşındığı, derişimin fazla olduğu taraftaki Ag elektrodu üzerinde Ag biriktiği gözlemlenir. Yani derişimin düşük olduğu tarafta yükseltgenme, derişimin yüksek olduğu tarafta indirgenme meydana gelir. Katotta indirgenme, anotta yükseltgenme olduğunu hatırlarsak anot ve katot yarı tepkimelerini yazabiliriz.

Anot (derişimi düşük olan hücre): $Ag(k) \rightarrow Ag^{+}(suda)(0,1M) + e^{-}$ $E^{o} = 0,80$ V

Katot (derişimi yüksek olan hücre): $Ag^{+}(suda)(1M) + e^{-} \rightarrow Ag(k)$ $E^{o} = 0,80$ V

Derişim pillerinde sadece anot ve katottaki çözelti derişimleri farklı olduğu için elde edilen hücre potansiyeli oldukça küçüktür. Derişim pillerinde pil potansiyelini Nernst eşitliğinden yararlanarak hesaplayabiliriz.

$$E_{pil} = E^{o}_{pil} - \frac{0,06}{n}\log Q$$

Q değeri için $\frac{Ag^{+}_{(0,1M)}}{Ag^{+}_{(1M)}}$ ifadesi kullanılır. Başka bir ifade ile net pil denklemine göre Q için $\frac{[ürün]}{[giren]}$ oranı kullanılır.

$$E_{pil} = \underbrace{E^{o}_{pil}}_{0} - \frac{0,06}{\underbrace{n}_{1}}\log \underbrace{Q}_{\frac{0,1}{1}} = 0 + 0,06 \Rightarrow 0,06 \text{ V bulunur.}$$

Bu tür bir Galvanik hücrede derişimin az olduğu yarı hücredeki (anot) derişim, zamanla artar. Derişimin fazla olduğu yarı hücredeki (katot) derişim ise zamanla azalır. Her iki yarı hücredeki çözelti derişimleri birbirine eşit oluncaya kadar Galvanik hücre, elektrik üretmeye devam eder. Derişimler eşitlendiğinde, pil potansiyeli sıfır (0) olur ve pil, artık elektrik üretmez.

Alıştırma

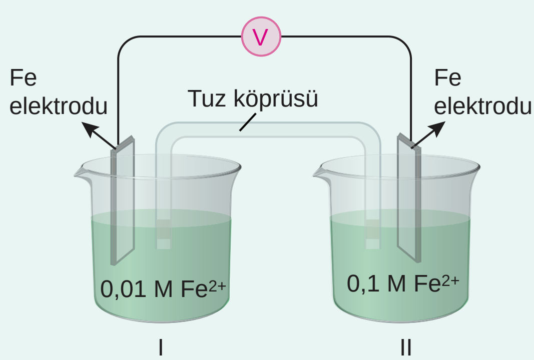
1) Pil diyagramı $Ni(k) | Ni^{2+}(suda)(0,1M) \| Ni^{2+}(suda)(1M) | Ni(k)$ şeklinde olan bir pilin pil potansiyelini hesaplayınız.

2) Yandaki görselde Fe elektrotları, Fe^{2+} iyonları içeren çözeltilere daldırılarak bir Galvanik hücre hazırlanıyor. Buna göre aşağıdaki çalışmaları yapınız.

a) Elektronların hareket yönünü belirtiniz.

b) Yarı hücreleri anot ve katot olarak tanımlayınız.

c) Galvanik hücrenin potansiyelini hesaplayınız.



Derişim pillerinde olduğu gibi diğer Galvanik hücrelerde de elektrik üretimi sonsuza kadar gerçekleşmez. Galvanik hücrelerin çalışma prensipleri önceki bölümde ayrıntılı olarak irdelenmişti. Galvanik hücrelerde elektrik üretiminin sağlanabilmesi için tuz köprüsü kullanılmalıdır. Bir Galvanik hücrede tuz köprüsü, yarı hücrelerdeki iyon yüklerinin denkliğini sağlamak için kullanılır. Anotta yükseltgenme sonucu oluşan negatif yüklü elektronların katoda iletilmesi ile birlikte anotta pozitif yüklü iyon sayısı artar ve anot, pozitif yüklü hâle gelir. Katotta ise anottan gelen elektronların pozitif yüklü iyonları indirgemesi ile eksi yük fazlalığı ortaya çıkar ve katot, negatif yüklü hâle gelir.

Yük denkliği sağlanmazsa pozitif yüklü hâle geçen anot, elektrostatik çekimden dolayı negatif yüklü elektronların katoda hareketini zorlaştıracaktır. Bu durumda yük denkliğinin sağlanması için tuz köprüsünde bulunan anyonlar (- yüklü iyonlar) anota, katyonlar (+ yüklü iyonlar) katoda doğru hareket eder. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır. Tuz köprüsünde bulunan iyonlar, yarı hücrelerde bulunan ve redoks tepkimesinde rol alan diğer iyonlarla tepkimeye girmemelidir. Bu nedenle tuz köprüsünde genellikle KCl, NaCl ya da NH_4NO_3 gibi inert elektrolitler kullanılır.

İlk üretilen Galvanik hücreler; tuz köprüsünün oldukça fazla yer kaplaması, elektrolitlerin sulu çözelti olması ve hücrelerin birbirinden ayrı kaplarda (uzakta) bulunması nedeniyle çok kullanışlı değildi. Piller ile ilgili yapılan çalışmalarla günlük yaşantımızdaki ihtiyaçlar doğrultusunda pillerin farklı boyut ve kapasitede çok sayıda türleri üretilmiştir. Örneğin bir televizyon kumandasında daha fazla enerji üretmek için seri bağlı piller kullanılabilir (Görsel 1.20).



Görsel 1.20: *Bir televizyon kumandasında kullanılan seri bağlı piller*

Günlük yaşantımızda kullandığımız bazı piller, potansiyelleri sıfır (0) olduktan sonra tekrar kullanılamaz. Ancak bazı piller yeniden doldurularak (şarj edilerek) tekrar kullanılabilir. Bu tür pillerde redoks tepkimeleri ile kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üretimi bittikten sonra, pile elektrik enerjisi verilerek kimyasal tepkimeler tersinir olarak gerçekleştirilir. Böylece piller tekrar elektrik üretebilir hâle getirilir. Lityum pilleri, kurşunlu aküler, nikel-kadmiyum pilleri yeniden doldurulabilir pillere örnektir. Bu bölümde lityum pilleri üzerinde durulacaktır.

Vatandaş olarak en önemli değerlerimizden biri öz denetim, sorumluluk ve vatanseverliktir. Çevre bilinci yüksek, kurallara ve kanunlara uyan, toplumsal değerleri önemseyen bireyler olarak tükenmiş ve artık kullanılamayacak pilleri çöpe ya da toprağa atmamalı, geri dönüşüme kazandırmalıyız. Çünkü şarj edilemeyen bazı piller cıva, çinko, nikel, kadmiyum gibi ağır metaller içerir. Ağır metaller canlılara ve çevreye zarar verir. Vatanını ve ülkesini seven her birey, çevre kirliliğinin önlenmesine ve kullanılmış maddelerin geri dönüşüme kazandırılmasına katkı sağlamalıdır.

Araştırma

Günümüzde akıllı telefonları kablosuz olarak şarj etmek mümkündür. Hatta bir otomobil firması geliştirdiği elektrikli otomobili kablosuz olarak şarj etmek için yeni bir sistem geliştirmiştir. Kablosuz şarj etme sisteminin nasıl çalıştığını araştırınız.



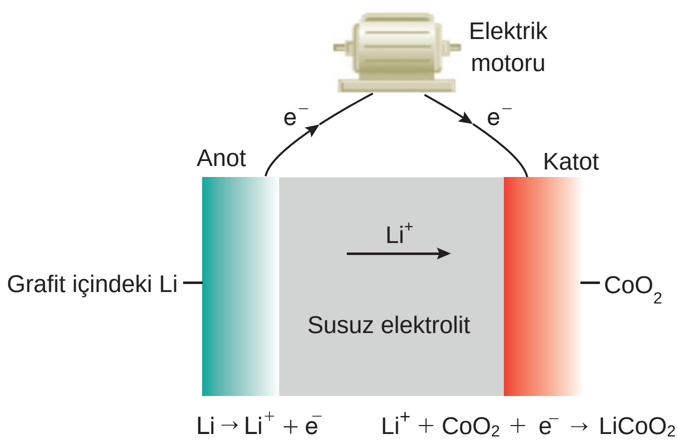
1.4.2. Lityum Pilleri

Bazı pillerde indirgenme ve yükseltgenme tepkimelerinde Li^{+} iyonları aktif rol alır. Bu tür piller, **lityum pili** olarak adlandırılır (Görsel 1.21). Bu piller tekrar şarj edilebilir özelliktedir. Lityum pillerin sahip olduğu enerji yoğunlukları yüksektir ve lityum piller toksik (zehirli) özellikte değildir. Bu nedenle günümüzde elektrikli otomobillerde, elektrikli bisikletlerde, cep telefonlarında, dizüstü bilgisayarlarda, tablet bilgisayarlarda ve küçük ev aletlerinde lityum piller tercih edilmektedir. Bu sistemlerde negatif elektrot olarak (anot) grafit, pozitif elektrot (katot) olarak Co, Ni, ve Mn gibi bir geçiş metali oksidi (örneğin CoO_2) kullanılmaktadır. Li^{+} iyonları tabakalı yapıda olan bu elektrotlar arasında yer değiştirir. Bir lityum pilin elektrik üretimi (deşarj) esnasında anot ve katotta meydana gelen tepkimeler aşağıdaki gibidir. Pillerin şarj edilmesi esnasında bu tepkimelerin tersi gerçekleşir.

Anot: $Li(k) \rightarrow Li^{+} + e^{-}$

Katot: $Li^{+} + CoO_2 + e^{-} \rightarrow LiCoO_2(k)$

Net pil denklemi: $Li(k) + CoO_2 \rightarrow LiCoO_2(k)$ $\quad E_{pil} = 3,4\ V$



Görsel 1.21: *Lityum pili*

Lityum pilleri uzun ömürlüdür ve çabuk şarj olabilmektedir. Bu nedenle yüksek enerji verimliliğine sahiptir (Görsel 1.21). Bu özelliklerinin yanı sıra lityum pilleri, pahalı olma, yüksek sıcaklıklarda bozunma, aşırı yükleme sonucunda kapasite kaybı gibi bazı istenmeyen özelliklere de sahiptir. Bu istenmeyen özellikleri ortadan kaldırmak için lityum pillerde elektrotlar ve elektrolitler üzerine birçok araştırma ve geliştirme çalışması yapılmaktadır.



Görsel 1.22: *Akıllı telefonlar lityum iyon pil içerir.*

Özellikle bu tür piller günümüzde elektrikli otomobillerde kullanılmaktadır (Görsel 1.23). Ülkemizde de Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu tarafından geliştirilen yerli otomobilde de lityum iyon piller kullanılmaktadır. Lityum iyon piller ile ilgili karşılaşılan en önemli problemler; şarj süresinin uzun olması, otomobilde bulunan lityum pilin büyük yer kaplaması ve pilin ağırlığı şeklinde sıralanabilir. Bu problemlerin giderilmesi, elektrikli otomobil kullanımını artıracaktır.



Görsel 1.23: *2022 yılında Mart ayında Ankara'da düzenlenen Eko İklim Zirvesi'nde sergilenen, Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu tarafından yerli ve milli imkanlarla geliştirilen elektrikli otomobil*

Araştırma

Lityum iyon pilleri ve güncel kullanım alanlarını açıklayan bir poster hazırlayarak sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız. Posterinizi hazırlarken aşağıdaki özelliklerden yararlanabilirsiniz.

Sayfa Yapısı: Dikey ya da yatay

Sayfa Boyutu: A0: 841 mm x 1189 mm ya da A1: 594 mm x 841 mm

Yazı Tipi: Arial, Lucida, Tahoma, Times New Roman

Yazı Tipi Boyutu

	A0 Poster (Punto)	A1 Poster (Punto)
Ana Başlık	84	42
Yazar Adı	56	36
Ara Başlık	40	30
Metin	32	20
Resim Yazısı	20	15

Sütun Sayısı: Dikey poster için 2, yatay poster için 3 ya da 4

1.5. ELEKTROLİZ

Önceki bölümlerde, elektrik enerjisi kullanılarak istemsiz bir redoks tepkimesinin gerçekleştirilebileceğini ve bu olaya elektroliz adı verildiğini açıklamıştık. Bu bölümde elektrolizi daha detaylı inceleyeceğiz.

1.5.1. Faraday Yasaları

Elektrik enerjisi kullanılarak maddelerde meydana gelen kimyasal değişimler ilk defa 1830'lu yıllarda Michael Faraday (Maykıl Faraday) tarafından incelenmiştir. Faraday, yaptığı çalışmalar sonucunda elektrik ile madde arasındaki etkileşimi açıklayan iki temel kanun ortaya koymuştur.

Birinci Kanun: Bir elektroliz devresinden geçen elektron miktarı ile elektrotlarda toplanan madde miktarı arasında doğru orantı vardır.

İkinci Kanun: Farklı maddelerin elektrolizi esnasında, devreden belirli bir miktar elektrik yükü geçirildiğinde elektrotlarda açığa çıkan maddelerin mol sayıları, gerekli elektronun mol sayısına eş değerdedir.

Ticari olarak Na metali üretiminde erimiş NaCl elektroliz edilir. Devreden 1 mol e^- geçmesiyle katotta 1 mol (23 g) Na metalinin biriktiği gözlenir.

$$\underbrace{Na^+(s)}_{1\,mol} + \underbrace{e^-}_{1\,mol} \rightarrow \underbrace{Na(k)}_{1\,mol\,(23\,g)}$$

Benzer şekilde, Al metali üretiminde devreden 1 mol e^- geçmesi ile 1/3 mol (9 g) Al elde edilmektedir. 1 mol (27 g) Al elde etmek için 3 mol e^- gerekir.

$$\underbrace{Al^{3+}(s)}_{1\,mol} + \underbrace{3e^-}_{3\,mol} \rightarrow \underbrace{Al(k)}_{1\,mol\,(27\,g)}$$

11. sınıfta "Modern Atom Teorisi" ünitesinde 1 tane e^- un yükünün $1,6022.10^{-19}$ C olduğu açıklanmıştı. Buradan 1 mol e^- un yükü hesaplanabilir. 1 mol e^- Avogadro sayısı $(6,02.10^{23})$ kadar e^- içerdiğine göre

$$1\text{ mol } e^- \text{ yükü} = \underbrace{1,6022.10^{-19}}_{1\text{ tane } e^- \text{ yükü}} \cdot \underbrace{6,02.10^{23}}_{\text{Avogadro sayısı}} = 96485\text{ C}^*$$

bulunur.

1 mol e^-un taşıdığı bu yük miktarına **1 Faraday** denir ve bu, **F** harfi ile gösterilir.

$$1F = 1mol\ e^- \text{yükü} = 96500\text{ C}$$

* Hesaplamalarda işlem kolaylığı olması için bu değer 96500 C olarak kullanılacaktır.

Deneysel çalışmalarda bir elektroliz devresinden geçen elektron sayısı ve buna bağlı olarak yük miktarı, elektronların çok küçük atom altı tanecikler olması nedeni ile ancak dolaylı yollardan hesaplanabilir. Bunun için fizik dersinden de hatırlayacağınız gibi devreden belirli bir sürede geçen akım şiddetini ölçen **ampermetre** adını verdiğimiz bir cihaz kullanılır. Buna göre elektrik yükü (Q), akım şiddeti (I) ve süre (t) arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\underbrace{Q}_{\text{Yük (C)}} = \underbrace{I}_{\text{Akım şiddeti (A)}} \cdot \underbrace{t}_{\text{Süre (s)}}$$

1 amperlik akım, her bir saniyede verilen bir noktadan geçen $6 \cdot 10^{18}$ elektrona karşılık gelir.

Örnek

Bir elektrolitik hücrede erimiş NaCl, 193 s süreyle elektroliz ediliyor. Devreden geçen akım şiddeti 50 A olduğuna göre aşağıdaki soruları yanıtlayalım (Na: 23).

a) Devreden geçen yük miktarı kaç C'dur?

b) Devreden kaç mol e^- geçmiştir?

c) Katotta kaç gram Na metali toplanır?

Strateji

Devreden 1 mol e^- geçince 96500 C yük geçecektir. 1 mol Na metali elde etmek için 1 mol e^- gerekir.

Çözüm

a) Devreden geçen yük miktarı, belirli bir sürede devreden geçen akım şiddetidir. Devreden geçen yük miktarını hesaplamak için aşağıdaki eşitlikten yararlanırız.

$$Q = \underbrace{I}_{50\text{ A}} \cdot \underbrace{t}_{193\text{ s}} = 50.193 = 9650\text{ C}$$

b) Devreden 96500 C yük geçmesi 1 mol e^- geçişine karşılık gelir. Buna göre 9650 C yük geçişine karşılık devreden kaç mol e^- geçtiğini bulmak için orantı kurulur.

96500 C ⟶ 1 mol e^- yükü ise
9650 C ⟶ ? mol e^- yüküdür.

$$? = \frac{9650.1}{96500} = 0,1 \text{ mol } e^-$$

c) Elektroliz hücresinde katotta ya da anotta oluşan maddenin miktarını hesaplayabilmek için indirgenme veya yükseltgenme yarı tepkimelerini bilmek gerekir. Yani 1 mol maddenin açığa çıkması için gereken e^- un mol sayısı bilinmelidir. Katotta 1 mol Na metali elde etmek için 1 mol e^- gerekir.

$$\underbrace{Na^+(s)}_{1\,mol} + \underbrace{e^-}_{1\,mol} \rightarrow \underbrace{Na(s)}_{1\,mol\,(23\,g)}$$

1 mol e^- geçtiğinde ⟶ 23 g Na elde edilmekte ise
0,1 mol e^- geçtiğinde ⟶ ? g Na elde edilir.

$$? = \frac{0,1 \cdot 23}{1} = 2,3 \text{ g Na elde edilir.}$$

Erimiş NaCl'ün elektrolizinde devreden 1 F yük geçtiğinde katotta 1 mol Na metali birikirken anotta 0,5 mol Cl_2 gazı açığa çıkmaktadır. 1 mol Na oluşması için 1 mol e^- gereklidir. Ancak 1 mol Cl_2 gazının oluşması için devreden 2 mol e^- geçmelidir. Yani devreden geçen e^- miktarı her iki madde için de aynı olduğuna göre elektrotlarda değişime uğrayan madde miktarları eş değerde olmalıdır. Faraday'ın ikinci kanununa göre devreden belirli bir miktar elektrik yükü geçirildiğinde elektrotlarda açığa çıkan maddelerin mol sayıları, gerekli e^- un mol sayısına eş değerdedir. Yani indirgenme ya da yükseltgenme yarı tepkimelerinde alınan-verilen e^- mol sayısı, elektrotlarda açığa çıkan madde miktarlarının hesaplanmasında dikkate alınmalıdır. Erimiş NaCl'ün elektrolizinde anotta meydana gelen yükseltgenme yarı tepkimesi aşağıdaki gibidir.

$$2Cl^-(s) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$$

Devreden 1 mol e^- geçtiğinde katotta 23 g Na oluşurken anotta 35,5 g Cl_2 gazı oluşur. Oluşan Na metali ile Cl_2 gazının kütlesi aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanır.

$$m = \frac{M_A \cdot I \cdot t}{96500 \cdot n}$$

m : Elektrotta toplanan madde miktarı
M_A : Mol kütlesi
n : 1 mol maddenin oluşumunda alınan-verilen e^- sayısı
I : Akım şiddeti (amper)
t : Süre (saniye)

Oluşan Cl_2 gazının kütlesi hesaplanırken n değeri 2, Na metalinin kütlesi hesaplanırken n değeri 1 olarak alınır.

Bilişim Teknolojileri

Faraday Bağıntısı'nı bir ofis programında elektronik tablolama programı kullanarak kurgulayabilir ve meydana gelen değişimleri yorumlayabilirsiniz. Bu amaçla sayfa 47'de çözümü yapılan örnek için elektronik tabloyu kullanalım.

1. Bir elektrolitik hücrede erimiş NaCl, 193 s süreyle elektroliz edilirken devreden 50 A akım geçiriliyor. Buna göre ilgili verileri elektronik tabloda yerine yazarak katotta kaç gram Na metali toplandığını bulalım (Na: 23).

- Elektronik tabloda öncelikle verilerin yazılacağı hücreler tanımlanır.

D3 hücresine **akım şiddeti,** D4 hücresine **süre,** D5 hücresine **mol kütlesi,** D6 hücresine **n** değeri yazılır.

- D7 hücresi için formül satırına (fx) =(D3*D4*D5) / (96500*D6) denklemi yazılır. Bu denklem Faraday Bağıntısı'na göre düzenlenmiştir.

- Veriler ilgili hücrelere girildikten sonra enter tuşuna basıldığında **m** değeri tabloda görülür. Aşağıdaki elektronik tablo görselini inceleyiniz.

D7 fx =(D3*D4*D5) / (96500*D6)

	A	B	C	D	E	F
1						
2				Veriler		
3			I	50		I : Akım şiddeti (amper)
4			t	193		t : Süre (saniye)
5			M_A	70		M_A : Mol kütlesi
6			n	2		n : 1 mol maddenin oluşumunda alınan-verilen e- sayısı
7			m	3,5		m : Elektrotta toplanan madde miktarı
8						
9						$m = \frac{M_A . I . t}{96500}$
10						

Elektronik tablodaki değerleri aşağıda verilen değerler ile değiştirerek gerçekleşen değişiklikleri gözlemleyiniz ve yorumlayınız. Bulduğunuz m değerlerini aşağıdaki tabloya yazınız.

I	50	10	80	150	200	120
t	193	19,3	386	96,5	386	289,5
m	2,3					

2. Benzer bir tabloyu aynı örnek için anotta açığa çıkan klor gazı miktarını bulmak için yapınız (Cl: 35,5).

I	50	10	80	150	200	120
t	193	19,3	386	96,5	386	289,5
m						

Örnek

Erimiş $AlCl_3$ 386 s süreyle 250 A akım uygulanarak elektroliz ediliyor. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayalım (Al: 27, Cl: 35,5).

a) Devreden kaç F yük geçer?

b) Elektrotlarda hangi maddelerden, kaç gram açığa çıkar?

Strateji

Belirli bir sürede devreden geçen akım miktarı, devreden geçen yük miktarını verir. Katyonlar katotta indirgenirken anyonlar anotta yükseltgenir.

Çözüm

a) Devreden geçen yük miktarı, $Q = I \cdot t = 250 \cdot 386 = 96500\ C$ bulunur. Hatırlayacağınız gibi 96500 C yük, 1 F'a eşittir. Bu nedenle devreden 1 F yük geçer.

b) Ortamda katyon olarak Al^{3+} iyonları, anyon olarak Cl^- iyonları bulunmaktadır. Katyonlar katotta indirgenirken anyonlar anotta yükseltgenir. İndirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimeleri aşağıdaki gibidir.

Anot: $2Cl^-(s) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

Katot: $Al^{3+}(s) + 3e^- \rightarrow Al(k)$

Katotta ve anotta toplanan madde miktarlarını oran orantı ile ya da formül kullanarak bulabiliriz.

Katotta toplanan Al kütlesi için aşağıdaki orantı bulunur.

3 F yük geçtiğinde — katotta 27 g Al toplanır.
1 F yük geçtiğinde — ? g Al toplanır.

$$? = \frac{1 \cdot 27}{3} = 9\ g\ Al$$ toplanır.

Formül kullanılırsa aşağıdaki gibi hesaplama yapılır.

$$m = \frac{M_A \cdot I \cdot t}{96500 \cdot n} = \frac{27 \cdot 250 \cdot 386}{96500 \cdot 3} = 9 \text{ g Al toplanır.}$$

Anotta toplanan Cl_2 gazının kütlesi için aşağıdaki orantı kurulur.

2 F yük geçtiğinde — katotta 71 g Cl_2 gazı toplanır.

1 F yük geçtiğinde — ? g Cl_2 toplanır.

$$? = \frac{1 \cdot 71}{2} = 35,5 \text{ g } Cl_2 \text{ gazı toplanır.}$$

Formül kullanılırsa aşağıdaki gibi hesaplama yapılır.

$$m = \frac{M_A \cdot I \cdot t}{96500 \cdot n} = \frac{71 \cdot 250 \cdot 386}{96500 \cdot 2} = 35,5 \text{ g } Cl_2 \text{ gazı toplanır.}$$

Alıştırma

1) Erimiş Al_2O_3in elektrolizinde devreden 250 s süre ile 193 A akım geçmiştir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız (O: 16, Al: 27).

a) Devreden geçen yük miktarı kaç C'dur?

b) Devreden kaç mol e^- geçmiştir?

c) Elektrotlarda hangi maddelerden kaçar gram açığa çıkar?

2) Erimiş $CaCl_2$ün elektrolizinde anotta 71 g madde açığa çıkmıştır. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız (Ca: 40, Cl: 35,5).

a) Devreden kaç F yük geçmiştir?

b) Devreden geçen e^- kaç moldür?

c) Katotta kaç gram madde birikmiştir?

3) Erimiş NaCl'ün elektrolizinde katotta 2,3 g Na metali birikmiştir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız (Na: 23, Cl: 35,5).

a) Devreden kaç C yük geçmiştir?

b) Anotta kaç gram Cl_2 gazı açığa çıkar?

Elektrolizin birçok kullanım alanı vardır. Bunlardan biri metal yüzeylerin başka bir metalle kaplanmasıdır. Bunun için metal bir anahtarın bakır metali ile kaplanmasına ilişkin deneyi yapalım.

Deney 1.2.

Deneyde Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 1 tane metal anahtar
- 1 tane bakır plaka
- 1 M $CuSO_4$ çözeltisi
- 1 adet 100 mL beher
- Doğru akım güç kaynağı
- 2 adet iletken kablo
- Hassas terazi

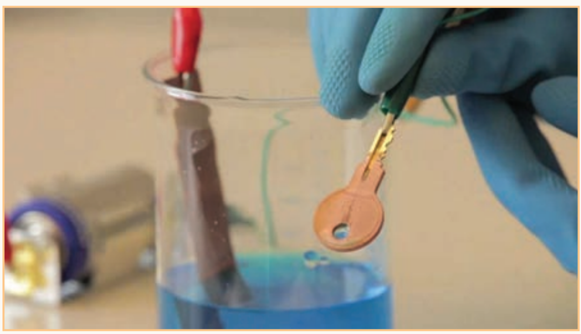
Metal Anahtarı Bakır ile Kaplama Deneyi

Odak sorusu: Metal bir anahtar, bakır metali ile kaplanabilir mi?

Kavramsal Kısım

Odak sorusunu yanıtlayabilmek için aşağıda belirtilen kavram ve ilkeleri bilmeliyiz. Deneye başlamadan önce bu kavram ve ilkeleri araştırınız.

- Elektroliz nedir?
- Elektrokaplama nedir?



Deneyin Yapılışı

1. 100 mL'lik behere 80 mL $CuSO_4$ çözeltisi konulur.

2. Bakır plaka ve metal anahtar hassas terazi ile tartılır, kütleleri kayıtlar ve veri dönüşümleri bölümünde ilgili tabloya kaydedilir.

3. Bakır plaka bir iletken kabloya bağlanır ve $CuSO_4$ çözeltisine daldırılır. Benzer şekilde metal anahtar iletken kabloya bağlanır ve $CuSO_4$ çözeltisine daldırılır.

4. Bakır elektrot, iletken kablo ile doğru akım güç kaynağının pozitif ucuna; metal anahtar; iletken bir kablo ile doğru akım güç kaynağının negatif ucuna bağlanır.

5. Kaplama işleminin başlaması için doğru akım güç kaynağı kullanılarak enerji verilir.

6. Kaplama işleminin toplam süresi kaydedilir.

7. Devreden geçen akım şiddeti kaydedilir.

8. Metal anahtar ve bakır plakanın kütlesi, deney tamamlandıktan sonra hassas terazide tekrar tartılır; ilgili tabloya kaydedilir.

Deneysel İddialar

Kayıtlar ve Veri Dönüşümleri

Plaka ve Metal Anahtarın Kütlesi (g)		Devreden Geçen Akım Şiddeti (A): ....
Deney başlangıcında	Bakır elektrot: .... Metal anahtar:	Elektroliz süresi (s): ......
Deney sonunda	Bakır elektrot: .... Metal anahtar:	Devreden geçen elektronun mol sayısı: ....

Bilgi İddiaları

1. Metal anahtar, doğru akım güç kaynağının neden negatif ucuna bağlandı? Açıklayınız.

2. Anot ve katot elektrotları belirleyiniz.

3. Anot ve katot elektrotlarda meydana gelen değişimlerin tepkime denklemlerini yazınız.

Anot elektrot **Katot elektrot**

.... → .... → ....

4. Faraday Yasası'na göre metal anahtarda toplanması gereken madde miktarını hesaplayınız ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırınız. Farklılığın nedenlerini tartışınız.

5. Deneysel sonucunuzun verim hesabını yapınız.

Farklı Durumlara Uygulama

a. Bu deneyde, metal anahtar çinko ile kaplanmak istenseydi aynı süre ve aynı güç kaynağı kullanıldığında en az ne kadar enerji vermek gerekirdi? Sayfa 30'da Tablo 1.3'teki indirgenme potansiyellerinden yararlanarak soruyu yanıtlayınız.

b. Elektrokaplamacılığın sağladığı kolaylıklar nelerdir?

c. Elektroliz hangi alanlarda kullanılabilir? Araştırınız. Elde ettiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

Bu deneyde, metal bir anahtarın bakır ile kaplanabildiğini gözlemlediniz. Farklı metal cisimler, farklı metallerle kaplanabilir. Kullanılacak elektik miktarı; kaplanacak maddenin yüzey alanına, kaplamada kullanılan metalin türüne ve süreye bağlıdır.

1.5.2. Suyun Elektrolizi

Elektrolizin endüstride birçok uygulama alanı vardır. Bazı maddelerin bileşiklerden elde edilmesi, bazı metallerin saflaştırılması ya da daha dayanıklı maddeler üretmek için bazı maddelerin yüzeylerinin kaplanması bu uygulama alanlarından birkaçıdır.

Elektrolizin kullanım alanlarından biri de suyun elektrolizidir. Suyun elektroliz edilmesi sonucunda hangi gazların elde edileceğini deney yaparak gözlemleyelim.

Deney 1.3.

Deneyde Kullanılacak Araç ve Gereçler

- 2 tane deney tüpü
- 2 tane iletken tel
- 1 adet 100 mL beher
- Saf su
- Derişik H_2SO_4
- Doğru akım güç kaynağı

Suyun Elektrolizi Deneyi

Odak sorusu: Su elektroliz edildiğinde hangi gazlar elde edilir?

Kavramsal Kısım

Odak sorusunu yanıtlayabilmek için elektroliz kavramını ve elektrolizin ilkelerini bilmeliyiz. Deneye başlamadan önce bu kavramı ve ilkelerini araştırınız.

Deneyin Yapılışı

1. 100 mL'lik behere 80 mL saf su konulur. 3-4 damla derişik H_2SO_4 damlatılır.

2. Deney tüpleri saf su ile tamamen doldurulup beherin içine ters çevrilerek daldırılır ve sabitlenir.

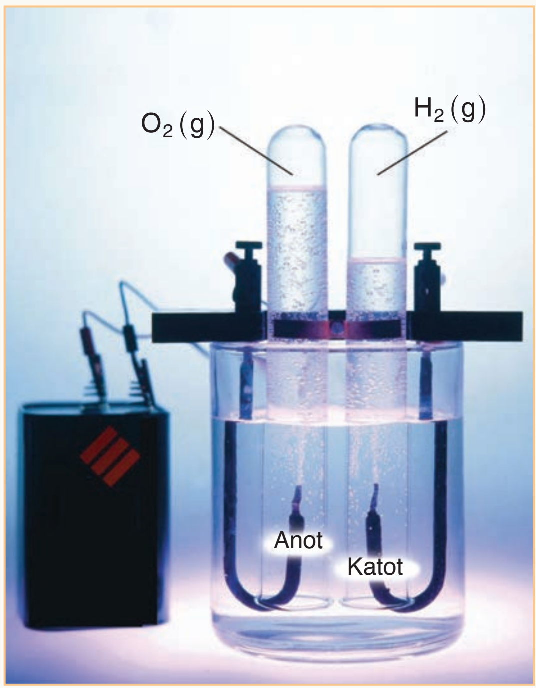
3. Deney tüplerinin içine iletken teller yerleştirilir.

4. İletken tellerden biri doğru akım güç kaynağının + ucuna, diğeri ise-ucuna bağlanır.

5. Doğru akım güç kaynağı çalıştırılır.

6. Doğru akım güç kaynağından devreye verilen akım miktarı kaydedilir.

7. Deney sonlandırıldığında deney süresi kaydedilir.



Deneysel İddialar

Kayıtlar ve Veri Dönüşümleri

Devreden geçen akım şiddeti (A): …..
Elektroliz süresi (s): ………
Devreden geçen elektronun mol sayısı: …..

Bilgi İddiaları

1. Saf suyun elektrolizinde neden derişik H_2SO_4 damlatılmıştır? Açıklayınız.

2. Anot ve katot elektrotları belirleyiniz.

3. Anot ve katot elektrotlarda meydana gelen değişimlerin tepkime denklemlerini yazınız.

Anot elektrot

………………….. → …………..

Katot elektrot

………………….. → …………..

Net tepkime denklemi

………… → …………..

4. Elektrotlarda açığa çıkan gazların hacimleri arasındaki farklılığın sebebini açıklayınız.

5. Faraday Yasası'na göre anot ve katotta toplanması gereken gazların kütlesini hesaplayınız ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırınız. Farklılığın nedenlerini tartışınız.

Farklı Durumlara Uygulama

a. Bu deneyde, NaCl'ün sulu çözeltisi kullanılsaydı anot ve katotta açığa çıkan maddeler neler olurdu? Aynı süre ve aynı güç kaynağı kullanıldığında en az ne kadar enerji vermek gerekirdi? Bu soruyu sayfa 30'da Tablo 1.3'teki indirgenme potansiyellerinden yararlanarak yanıtlayınız.

b. Elektroliz hangi alanlarda kullanılabilir? Araştırınız. Elde ettiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

Bu deneyde, saf suyun elektrolizi sonucunda hidrojen ve oksijen gazı elde edilmiştir. Oda koşullarında (25°C sıcaklıkta, 1 atm basınçta) suyun elektrolizi genellikle **Hoffman voltametresi** ile yapılmaktadır (Görsel 1.24) ancak laboratuvar imkânlarına göre yaptığınız deneyde olduğu gibi deney tüpleri kullanılarak da saf suyun elektroliz işlemi gerçekleştirilebilir.



Görsel 1.24: *Hoffman voltametresi*

Saf suyun elektroliz edilmesi işleminde saf suya bir miktar derişik H_2SO_4 eklenir. Bunun sebebi elektroliz işleminin gerçekleşmesi için saf suyun elektriksel iletkenliğinin çok az olmasıdır. Elektriksel iletkenliği artırmak için saf suya bir miktar H_2SO_4 eklenmelidir.

Sisteme elektrik enerjisi verilirse katotta indirgenme tepkimesi sonucunda H_2 gazı, anotta yükseltgenme tepkimesi sonucunda O_2 gazı açığa çıkar.

Anot:	$2H_2O_{(s)} \rightarrow O_2(g) + 4H^+(suda) + 4e^-$	$E^0_{H_2O/O_2} = -1,23$ V
Katot:	$4H_2O(s) + 4e^- \rightarrow 2H_2(g) + 4OH^-(suda)$	$E^0_{H_2O/H_2} = -0,83$ V
Net pil denklemi:	$2H_2O(s) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$	$E^0_{hücre} = -2,06$ V

Suyun elektrolizi için güç kaynağından 2,06 volttan daha büyük bir elektrik enerjisi uygulanmalıdır. Net tepkime denklemindeki katsayılar dikkate alınırsa hidrojen gazının hacminin oksijen gazının hacminin iki katı olması gerektiği görülmektedir.

Elektrik enerjisinin endüstriyel alanlardaki kullanımı ya da günlük yaşantımızdaki uygulamaları kimya bilimi ile iç içedir. Vatansever ve çalışkan bireyler olarak bu tür alanlardaki çalışmalara önem vermeliyiz. Ülkemizin sanayi alanında gelişmesi fedakâr, azimli, çalışkan bireyler sayesinde olacaktır. Millî kalkınmanın gerçekleşmesi için çalışkanlık ve vatanseverlik gibi değerlerin bilinci ile hareket etmeliyiz.

1.6. KOROZYON

Pil düzeneklerinde meydana gelen redoks tepkimeleri, istemli tepkimelerdir ve elektrik üretimini sağlar. Ancak bu tür istemli redoks tepkimelerinin gerçekleşmesi her zaman tercih edilmez. Bu bölümde gerçekleşmesi istenmeyen redoks tepkimelerinin nasıl önleneceği üzerinde durulacaktır.

Demirin paslanması (Görsel 1.25), gümüşün kararması, bakırın yeşil renge dönüşmesi kendiliğinden gerçekleşen redoks tepkimeleridir. Ancak bunlar, gerçekleşmesi istenmeyen tepkimelerdir. Metallerin bu şekilde istenmeyen yükseltgenmelerine **korozyon** denir. Bu istenmeyen olay (korozyon) köprülerin, gemilerin, otomobillerin demirden yapılmış metal parçalarının ömrünü kısaltır. Korozyona uğramış bu metal parçaların değiştirilmesi ülke ekonomisini her yıl zarara uğratır.



Görsel 1.25: *Korozyona uğramış araba*

Korozyon, elektrokimyasal bir süreçtir ve bu süreci engellemek mümkündür. Korozyonu engellemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlere değinmeden önce, korozyonun neden gerçekleştiği üzerinde duralım.

Korozyonun gerçekleşmesine sebep olan başlıca faktör, sudur (nem). Yükseltgenme potansiyeli ne kadar fazla ise metaller o kadar kolay korozyona uğrar. Demirin paslanması olayını yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri temelinde açıklayalım. Saf suyun oda koşullarında indirgenme yarı tepkimesi ve standart indirgenme potansiyeli aşağıdaki gibidir.

$$2H_2O(s) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(suda) \quad E^o = -0,83\ V$$

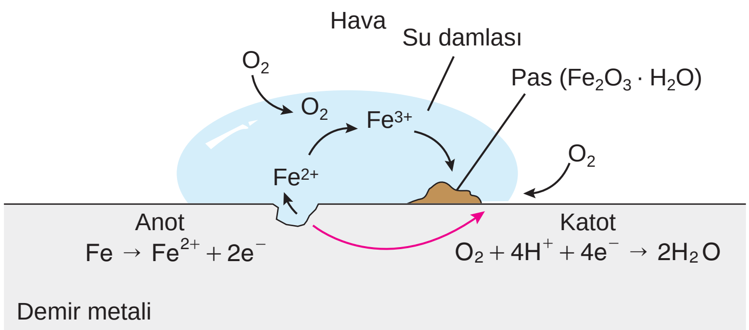
Bu tepkimeye göre ortamda 1 M OH^- iyonu vardır. Çünkü oda koşullarında standart indirgenme potansiyellerinin hesaplanmasında çözelti derişimleri 1 M'dır. Yani ortam baziktir. Ancak nötr bir ortamda $(pH = 7)$ saf suyun yükseltgenme potansiyeli, $E^o = 0,42\ V$'tur. Demir metalinin yükseltgenme potansiyeli de bu değere yakındır.

$$Fe(k) \rightarrow Fe^{2+}(suda) + 2e^- \qquad E^o = 0,44\ V$$

Bu duruma göre saf suyun ve demirin potansiyelleri birbirine yakın olduğu için demir metali, saf suda çok az yükseltgenir (net potansiyel = 0,44-0,42 = 0,02 V). Ancak doğal koşullarda su, saf hâlde değildir ve havadaki CO_2 gazının suda çözünmesi ile asidik özelliktedir. Bu nedenle asidik ortamda iyi bir yükseltgen olan O_2 gazının varlığı yükseltgenmeyi kolaylaştırır. O_2 gazının indirgenme yarı tepkimesi ve standart indirgenme potansiyeli aşağıdaki gibidir.

$$O_2(g) + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O(s) \qquad E^o = 1,23\ V$$

Demir metalinin nemli bir ortamda yükseltgenmesi, ortamda bulunan oksijen gazının indirgenmesi ile gerçekleşir. Nemli bir ortamda, demir metalinin yüzeyinde bulunan küçük bir su damlası, elektrolitik hücredeki elektrolit görevini görür (Görsel 1.26).



***Görsel 1.26:** Demir metalinin paslanması esnasında gerçekleşen olaylar*

Damlanın kenarında bulunan oksijen, demir metalini Fe^{2+} iyonlarına yükseltger. Fe^{2+} iyonları, damlanın kenarına geldiğinde oksijence zengin bu bölgede bir daha yükseltgenerek Fe^{3+} iyonlarına dönüşür. Bu iyonlar oksijenle birleşip suda çözünmeyen, bizim **pas** olarak adlandırdığımız demir (**III**) oksit bileşiğini ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) oluşturur. Sudaki iyonların oluşumu arttıkça iletkenlik artar ve paslanma hızlanır.

Korozyonu önlemek için metal yüzey boyanmalıdır. Böylece hava ve su ile temas edemeyen metal yüzeyi korozyona uğramaz.

Boyama işleminin dışında, metallerin elektrokimyasal serideki sıralamalarından (aktifliklerinden) yararlanarak da korozyon önlenebilir. Örneğin demir metalinin yüzeyi düzgün ve çatlaksız bir çinko tabakası ile kaplanır. Çinko metali, demir metaline göre daha aktiftir (Daha kolay yükseltgenir.) ancak çinkonun yükseltgenme ürünleri çinkoya sıkıca yapışarak onun daha fazla korozyona uğramasını engeller. Yani demir metalinin hava ve su ile temasını engelleyen koruyucu bir tabaka oluşur. Eğer çinko metal tabakası çizilirse ve alttaki demir tabakası açığa çıkarsa bu durumda çinko metali, demir metaline elektron vererek yükseltgenir. Böylece demir, çinkonun yükseltgenmesi sayesinde korozyona karşı korunur. Bu yönteme **galvanize etme** denir.

Demir metali kendisinden daha az aktif olan bakır ya da kalay ile de kaplanabilir. Ancak bakır ve kalay tabakasında ince bir çizik meydana geldiğinde ve demir açığa çıktığında, demir daha aktif olduğu için bakır ya da kalay değil demir yükseltgenir. Bu yöntem, çinko ile kaplamaya göre demiri daha az korur. Bu nedenle çok kullanışlı değildir.

Büyük yapıların (köprü, gemi, yer altı su boruları, yer altında gömülü depolar) galvanize edilmesi mümkün değildir. Böyle durumlarda **katodik koruma** yöntemi kullanılır. Bu yöntemin temel prensibi korozyondan korunacak metale, ondan daha indirgen (aktif) bir metal (magnezyum ya da çinko gibi) bağlamaktır. Başka bir ifade ile korozyondan korunacak metal yerine, aktifliği yüksek bir metal kurban edilir. Aktifliği yüksek bu metal **kurban anot** olarak isimlendirilir. Örneğin yer altında gömülü demirden yapılmış bir depoya magnezyum bloklar bağlanır. Nemli ortamda magnezyum blok öncelikli olarak yükseltgenir. Böylece demirden yapılmış depo, korozyondan korunur.

1. ÜNİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

A. Aşağıdaki ifadelerde noktalı yerleri uygun kelime veya kavramlar ile tamamlayınız.

elektrokimya	standart hücre potansiyeli	elektrokimyasal hücreler	doğru orantı	tuz köprüsü
katot	voltmetre	elektroliz	1 Faraday	anot
korozyon	elektrolitik hücreler	yarı hücre	elektrot	elektrolit

1. Kimyasal tepkimeler ile elektrik enerjisi arasındaki ilişkileri inceleyen kimyanın alt bilim dalına .... denir.

2. İki elektrokimyasal hücre arasındaki potansiyel farkı .... ile ölçülür.

3. Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülebilmesine imkân veren sistemlere .... denir.

4. Yükseltgenmenin meydana geldiği elektrot ...., indirgenmenin meydana geldiği elektrot .... olarak adlandırılır.

5. Oda koşullarında (25°C sıcaklık ve 1 atm basınç) ve derişimlerin 1M olduğu durumlarda hesaplanan hücre potansiyeline .... denir.

6. Bir elektroliz devresinden geçen elektron miktarı ile elektrotlarda toplanan madde miktarı arasında .... vardır.

7. 1 mol e^-un taşıdığı yük miktarına .... denir.

8. Metallerin kendiliğinden yükseltgenmesine neden olan istenmeyen redoks tepkimelerine .... denir.

9. Elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştüren sistemlere .... denir.

10. Kendiliğinden gerçekleşmeyen redoks tepkimelerinin elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmesine .... adı verilir.

B. Aşağıdaki çalışmaları yapınız.

1. Nötr ortamda gerçekleşen aşağıdaki tepkimeyi en küçük tam sayılarla denkleştiriniz.

$$C + H_2SO_4 \rightarrow CO_2 + SO_2 + H_2O$$

2. Nötr ortamda gerçekleşen aşağıdaki tepkime en küçük tam sayılarla denkleştirildiğinde suyun katsayısı kaç olur?

$$As_2S_3 + HNO_3 \rightarrow H_3AsO_4 + H_2SO_4 + NO_2 + H_2O$$

3. Aşağıdaki tepkimeyi en küçük tam sayılarla denkleştiriniz. İndirgen ve yükseltgen maddeleri belirleyiniz.

$$Cu + HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + NO + H_2O$$

4. Aşağıda verilen bir Galvanik hücrede gerçekleşen redoks tepkimesini hücre diyagramı ile gösteriniz.

$$Fe(k) + Sn^{2+}(suda) \rightarrow Fe^{2+}(suda) + Sn(k)$$

5. Aşağıda hücre diyagramı verilen bir Galvanik hücrenin redoks tepkimesini denkleştirerek yazınız.

$$Pb(k) \mid Pb^{2+}(suda) \parallel Br_2(s) \mid Br^-(suda) \mid Pt(k)$$

6. Standart indirgenme potansiyellerinden yararlanarak (sayfa 30'daki Tablo 1.3); Pb^{2+} iyonlarının, Al(k) ve Cu(k) metallerini yükseltgeyip yükseltgeyemeyeceğini gerekli tepkimeleri yazarak açıklayınız.

7. Aşağıda verilen tepkimeler oda koşullarında istemli olarak gerçekleşebilir mi? Soruyu yanıtlarken standart indirgenme potansiyellerinden (sayfa 30'daki Tablo 1.3) yararlanınız.

a) $2Fe^{3+}(suda) + 2I^-(suda) \rightarrow 2Fe^{2+}(suda) + I_2(k)$

b) $2Al^{3+}(suda) + 3Ni(k) \rightarrow 2Al(k) + 3Ni^{2+}(suda)$

C. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları yanıtlayınız.

1. Aşağıda verilen tepkime nötr ortamda, oda koşullarında gerçekleşmektedir.

$$3C_2H_6O + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow 3C_2H_4O + K_2SO_4 + X + 7H_2O$$

Buna göre;

I. X maddesi Cr_2O_3'tir.

II. $K_2Cr_2O_7$ yükseltgen maddedir.

III. C_2H_6O yükseltgenmiştir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III D) I ve III E) I, II ve III

2. $NH_3 + O_2 \rightarrow NO + H_2O$

Nötr ortamda geçekleşen yukarıdaki tepkime ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

A) En küçük tam sayılarla denkleştirildiğinde suyun katsayısı 6'dır.

B) NH_3 gazı yükseltgenmiştir.

C) O_2 gazı yükseltgendir.

D) 1 mol NH_3 tepkimeye girdiğinde 1,5 mol H_2O oluşur.

E) En küçük tam sayılarla denkleştirildiğinde NH_3'ın katsayısı 2 olur.

3. $K_2Cr_2O_7 + HCl \rightarrow KCl + CrCl_3 + Cl_2 + H_2O$

Yukarıda verilen tepkime nötr ortamda gerçekleşmektedir. Tepkime en küçük tam sayılarla denkleştirildiğinde H_2O'yun katsayısı kaç olur?

A) 7 B) 6 C) 5 D) 3 E) 2

4. Erimiş $MgCl_2$ bileşiği 100 s süreyle 482,5 A akım ile elektroliz ediliyor. Buna göre katotta açığa çıkan madde kaç gramdır? (Mg: 24, Cl: 35,5)

A) 24 B) 17,75 C) 16 D) 6 E) 4

5. Aşağıda bazı maddelerin standart indirgenme potansiyelleri verilmiştir.

$Na^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Na(k)$ $E° = -2,71 V$

$Al^{3+}(suda) + 3e^{-} \rightarrow Al(k)$ $E° = -1,66 V$

$Cu^{2+}(suda) + 2e^{-} \rightarrow Cu(k)$ $E° = 0,34 V$

$Ag^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Ag(k)$ $E° = 0,80 V$

$Fe^{3+}(suda) + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}(suda)$ $E° = 0,77 V$

Buna göre aşağıdaki redoks tepkimelerinden hangisi ya da hangileri istemli olarak gerçekleşir?

I. $Al^{3+}(suda) + 3Na(k) \rightarrow 3Na^{+}(suda) + Al(k)$

II. $2Na^{+}(suda) + Cu(k) \rightarrow Cu^{2+}(suda) + 2Na(k)$

III. $Ag^{+}(suda) + Fe^{2+}(suda) \rightarrow Fe^{3+}(suda) + Ag(k)$

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) II ve III

6. Galvanik hücreler ile ilgili aşağıda verilenlerden hangisi yanlıştır?

A) Tuz köprüsü iyon denkliğini sağlar.
B) Katotta indirgenme meydana gelir.
C) Anotta yükseltgenme meydana gelir.
D) Elektronlar dış devredeki iletken tel üzerinde anottan katoda doğru hareket eder.
E) Tuz köprüsünde pozitif iyonlar anoda doğru hareket eder.

7. Elektrokimyasal hücreler ile ilgili

I. Galvanik hücrelerde elektrik enerjisi üretilir.
II. Elektrolitik hücrelerdeki redoks tepkimeleri istemli değildir.
III. İndirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimeleri gerçekleşir.

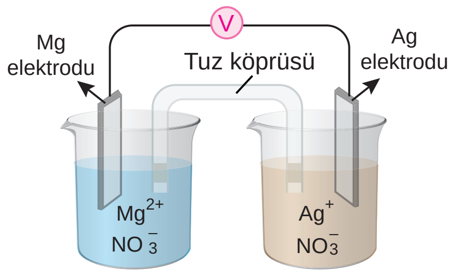
ifadelerinden hangisi ya da hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

8. Aşağıda, $Mg^{2+}(suda)$ ve $Ag^{+}(suda)$ iyonlarının standart indirgenme potansiyelleri verilmiştir.

$$Mg^{2+}(suda) + 2e^{-} \rightarrow Mg(k) \quad E^{o} = -2,37\ V$$

$$Ag^{+}(suda) + e^{-} \rightarrow Ag(k) \quad E^{o} = 0,80\ V$$



Oda koşullarında 1M'lık çözeltiler kullanılarak yukarıda verilen görseldeki gibi hazırlanan Mg-Ag pili ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) Başlangıç pil potansiyeli, 3,17 V'tur.

B) Elektronlar dış devrede Ag elektrodundan Mg elektroduna doğru hareket eder.

C) Mg elektrodu katot, Ag elektrodu anottur.

D) Tuz köprüsünde katyonlar Mg elektroda doğru hareket eder.

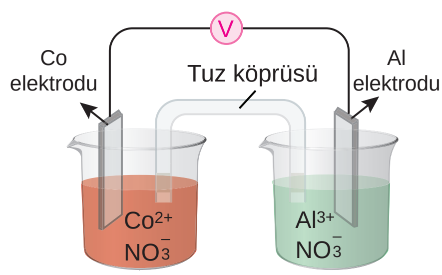
E) Net pil denklemi $Mg^{2+}(suda) + 2Ag(k) \rightarrow 2Ag^{+}(suda) + Mg(k)$ şeklindedir.

9. Yandaki pil sistemi ile ilgili standart indirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

$$Al^{3+}(suda) + 3e^{-} \rightarrow Al(k) \quad E^{o} = -1,66\ V$$

$$Co^{2+}(suda) + 2e^{-} \rightarrow Co(k) \quad E^{o} = -0,28\ V$$

Buna göre pil sistemi ile ilgili aşağıda verilenlerden hangisi <u>yanlıştır</u>?



A) Kobalt elektrotta indirgenme meydana gelir.

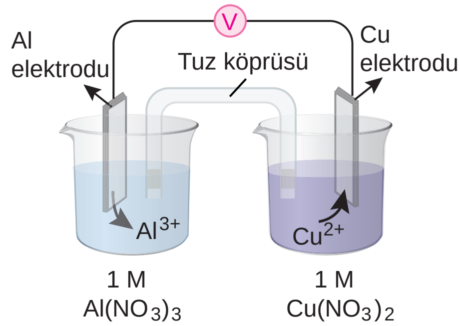
B) Başlangıç pil potansiyeli, 1,94 V'tur.

C) Alüminyum elektrot zamanla aşınır.

D) Tuz köprüsünde katyonlar, Co elektroduna doğru hareket eder.

E) Al^{3+} iyonu derişimi zamanla artar.

10. Yanda verilen pil düzeneğinde Cu elektrodun kütlesinin zamanla arttığı gözleniyor.



Buna göre aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

A) Al elektrodu anottur.

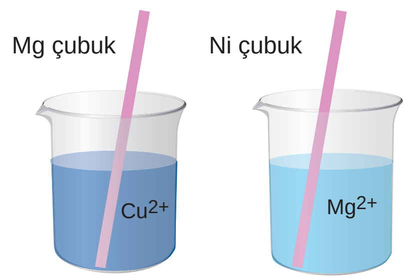
B) Cu elektrodunda indirgenme meydana gelir.

C) Al elektrodundaki tepkime
$Al(k) \rightarrow Al^{3+}(suda) + 3e^-$

D) Net pil denklemi, $2Al(k) + 3Cu^{2+}(suda) \rightarrow 2Al^{3+}(suda) + 3Cu(k)$ şeklindedir.

E) Elektronlar dış devrede Al elektroduna doğru hareket eder.

11. Şekildeki beherlerde Mg çubuk zamanla aşınırken Ni çubukta bir değişim gözlenmemektedir.



Buna göre;

I. Ni metalinin yükseltgenme potansiyeli, Mg metalininkinden küçüktür.

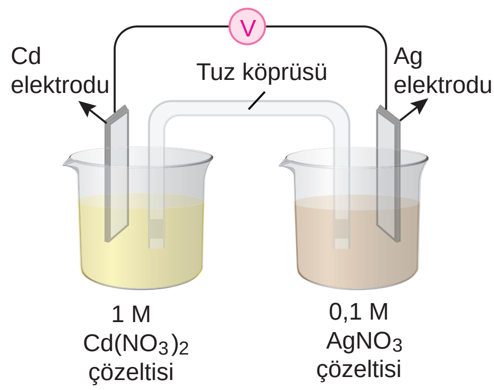
II. Ni^{2+} bulunan kaba Mg çubuk daldırılırsa Mg çubuk zamanla aşınır.

III. Cu^{2+} iyonlarının indirgenme potansiyeli Mg^{2+} iyonlarının indirgenme potansiyelinden küçüktür.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

12. Yandaki pil sistemi ile ilgili indirgenme potansiyelleri aşağıdaki gibidir.



$Cd^{2+}(suda) + 2e^- \rightarrow Cd(k) \quad E^o = -0,40\ V$

$Ag^{+}(suda) + e^- \rightarrow Ag(k) \quad E^o = +0,80\ V$

Buna göre verilen ifadelerden hangisi yanlıştır?

(Nernst eşitliğinde 0,06 değerini kullanınız.)

A) Zamanla Ag elektrodunun kütlesi artar.

B) Cd elektrodunun yüzey alanını artırmak pil potansiyelini artırır.

C) Verilen koşullarda pil potansiyeli, $E_{pil} = 1,14\ V$'tur.

D) Cd^{2+} derişimi zamanla artar.

E) Elektronlar dış devrede Ag elektroduna doğru hareket eder.

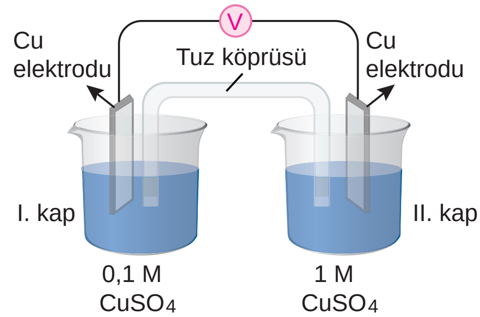
13. Yanda verilen derişim pili ile ilgili

I. 1. kap anottur.

II. Kaplardaki derişimler eşitleninceye kadar pil çalışır.

III. Pil potansiyeli başlangıçta 0,03 V'tur.

ifadelerinden hangisi ya da hangileri doğrudur?
(Nernst eşitliğinde 0,06 değerini kullanınız.)



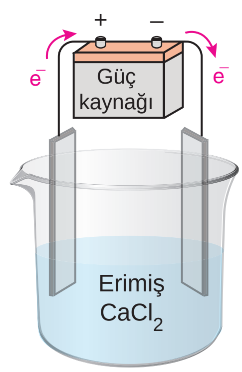
A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

14. Aynı kapta bulunan erimiş NaI ve KCl tuzları belirli bir süre elektroliz ediliyor. Anot ve katotta ilk açığa çıkan maddeler nelerdir (İndirgenme potansiyelleri: $Cl_2 > I_2 > Na^+ > K^+$)?

	Anot	Katot
A)	Cl_2	K
B)	I_2	K
C)	Cl_2	Na
D)	I_2	Na
E)	Cl_2	I_2

15. Yanda verilen elektroliz sisteminde, oda koşullarında erimiş $CaCl_2$ belirli bir süre elektroliz ediliyor.

Devreden 2 Faraday yük geçtiğine göre aşağıdakilerden hangisi doğrudur (Ca: 40)?



A) Katot tepkimesi $2Cl^-(s) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$ şeklindedir.

B) Anot tepkimesi $Ca^{2+}(s) + 2e^- \rightarrow Ca(k)$ şeklindedir.

C) 1 mol Cl_2 gazı açığa çıkar.

D) 80 g Ca metali elde edilir.

E) Devreden 1 mol e^- geçer.

16. Aşağıda verilen ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) Korozyonu önlemek için katodik koruma yöntemi kullanılabilir.

B) Korozyon kendiliğinden gerçekleşen bir redoks tepkimesidir.

C) Elektroliz yöntemi ile elektrik enerjisi üretilir.

D) Standart pil potansiyeli negatif olan bir elektrokimyasal hücrede redoks tepkimesi istemli değildir.

E) Bir pil sisteminde tuz köprüsü olmazsa pil çalışmaz.

2. ÜNİTE

KARBON KİMYASINA GİRİŞ

KONULAR



Yapısında karbon elementi bulunan elmas ve kömür



2011'de Paris Havacılık Fuarı'nda sergilenen karbon fiber kompozitten yapılmış uçak

Bu ünitede anorganik ve organik bileşiklerin ayırt edilmesi sağlanacak, organik bileşiklerin basit ve molekül formüllerinin nasıl bulunduğu açıklanacak, karbon elementinin çok sayıda bileşik yapmasının nedenleri ve bağ yapma özellikleri irdelenecek, moleküllerin geometrilerini tahmin etme üzerinde durulacaktır.

ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI

1. Organik ve anorganik bileşikler arasındaki farklar nelerdir?
2. Karbon elementinin çok sayıda bileşik oluşturabilmesinin nedeni nedir?

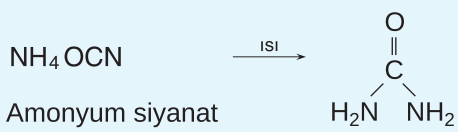
2.1. ANORGANİK VE ORGANİK BİLEŞİKLER

Yeryüzündeki tüm canlıların yaşamsal faaliyetlerinde önemli bir rol üstlenen element, karbondur. Proteinlerden karbonhidratlara, yağlardan akaryakıtlara birçok maddenin yapısında bulunan, yaşamın temel elementi karbondur. Karbon temelli bileşiklerin yapısını, özelliklerini ve üretim yollarını inceleyen kimya alt dalına **organik kimya** denir.

19. yüzyıla kadar organik bileşiklerin sadece canlı organizmalar tarafından sentezlenebildiğini ileri süren ve **vitalizm (yaşam gücü)** olarak bilinen bir inanış hâkimdir. Bu görüş, organik bileşiklerin kimya laboratuvarında sentezlenemeyeceğini ileri sürmüştür. Canlı olmayan kaynaklardan elde edilen bileşikler **anorganik (inorganik) bileşikler** olarak adlandırılmıştır. Friedrich Wöhler (Firedrik Völer, Görsel 2.1) 1828 yılında anorganik bileşiklerden yola çıkarak laboratuvar koşullarında ilk organik bileşiği sentezlemeyi başarmıştır. Wöhler, bir organik bileşik olan üreyi anorganik bir bileşik olan amonyum siyanatın sulu çözeltisini ısıtarak elde etmiştir.

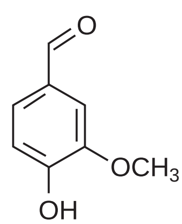


Görsel 2.1: *Friedrich Wöhler (1800-1882), Alman kimyacı. Aslında yanlışlıkla yaptığı bir keşif sonucunda organik bir bileşik olan üreyi ilk defa laboratuvarda sentezlemiş, organik bileşiklerin laboratuvar koşullarında da üretilebileceğini bilim dünyasına kanıtlamıştır.*



Wöhler'in bu sentezinden sonra "vitalizm" yavaş yavaş yerini organik kimya bilimine bırakmaya başlamıştır. 1850'li yıllardan itibaren "vitalizm" tamamen yok olmuştur. Vitalizm düşüncesi ile ortaya çıkan bu araştırmalar, karbon (C) elementinin bileşiklerini inceleyen ve kimyanın önemli bir alt dalı organik kimyayı ortaya çıkarmıştır. Ancak günümüzde hâlâ "organik" kelimesi "yaşayan canlı organizmalardan elde edilen" anlamında kullanılmaktadır. Bu yaklaşım doğru değildir çünkü Wöhler, canlı organizmalar olmadan da organik bileşiklerin üretilebileceğini ortaya koymuştur (Görsel 2.2).





4-hidroksi-3-metoksibenzaldehit
(Vanilin)

Görsel 2.2: *Organik bir bileşik olan vanilin, vanilya bitkisinden elde edilebildiği gibi laboratuvar ortamında yapay olarak da üretilebilir.*

Organik ve anorganik bileşikler, canlı organizmalar tarafından üretilmeleri esasına göre değil temel özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmalıdır.

Organik bileşikler, C elementinin bileşikleri olmakla birlikte C içeren her bileşik organik bileşik değildir. CO_2, CO, CaC_2, KCN, Na_2CO_3, $CaCO_3$ gibi bileşikler (karbonatlar, karbürler, siyanürler) C içermelerine rağmen organik bileşik değil anorganik bileşiklerdir. Öyleyse organik bileşikler ve anorganik bileşikler nasıl ayırt edilebilir? Organik ve anorganik bileşikler arasındaki temel farkları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Organik bileşiklerde temel element C elementidir ve doğadaki bileşiklerin yaklaşık %98'i organik bileşiktir. Anorganik bileşikler ise diğer elementlerden meydana gelir ve organik bileşiklere göre doğada bulunma yüzdeleri oldukça düşüktür.

2. Organik bileşikler kovalent yapılı iken anorganik bileşikler kovalent ya da iyonik yapılı olabilmektedir.

3. Organik bileşiklerin tepkimeleri genellikle yavaştır ve çoğunlukla katalizör gerektirir. Bu nedenle mekanizmalar üzerinden yürür. Anorganik bileşiklerin tepkimeleri ise daha hızlıdır.

4. Organik bileşikler genellikle suda çözünmez, organik çözücülerde çözünür. Anorganik bileşiklerin çoğu suda çözünür.

5. Organik bileşiklerin erime ve kaynama noktaları oldukça düşüktür ve çoğu kolaylıkla yanar. Anorganik bileşiklerin erime ve kaynama noktaları yüksektir ve çoğu yanmaz.

Sonuç olarak yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda organik kimyanın, karbon ve hidrojenden oluşan bileşikler (hidrokarbonlar) ve bunların türevlerinin kimyası olarak tanımlanması daha doğrudur. Organik bileşiklerde C ve H elementinin yanında O, N ve S gibi elementler de bulunabilir.

2.2. BASİT FORMÜL VE MOLEKÜL FORMÜLÜ

Elementlerin sembollerle, bileşiklerin ise formüllerle gösterildiğini 9. sınıfta "Kimya Bilimi" ünitesinde öğrenmiştiniz. 10. sınıfta "Kimyanın Temel Kanunları ve Kimyasal Hesaplamalar" ünitesinde ise bileşikleri oluşturan elementlerin belli oranlarda birleştiğini ve bu birleşme oranının Joseph Proust (Cosef Purust) tarafından Sabit Oranlar Yasası olarak adlandırıldığını öğrenmiştiniz. Bu bölümde, mol kütlesi ve mol sayısından yararlanarak bileşiklerin basit ve molekül formüllerinin nasıl yazıldığını ve bu formüllerin neler ifade ettiğini öğreneceksiniz.

a. Basit Formül

Bileşik formülleri, bileşiklerin hangi atomlardan oluştuğunu, bu atomların sayıca hangi oranlarda bir araya geldiğini belirtmek için kullanılır. Bileşik formüllerinin belirlenmesinde deneysel çalışmalar yapılır. Bunun için öncelikle bileşiklerin yapılarında bulunan atomların türü ve bileşikteki kütlece yüzdeleri kimyasal analizler ile belirlenir. Elde edilen kütlece yüzde değerleri, bileşikteki atomların sayılarının en küçük tam sayılara dönüştürülmesini sağlar. Bir bileşikteki atomların türünü ve sayıca oranını en basit tam sayı ile gösteren formüle **basit formül** denir.

Bir bileşikteki atomların kütlece yüzdesi biliniyorsa bileşiğin basit formülü bulunabilir.

Bunun için şu işlemler yapılmalıdır:

1. Bütün atomların kütlece yüzdeleri yazılır.

2. Bileşiğin kütlesi 100 g olarak kabul edilir ve atomların kütlece yüzdeleri 100 g bileşikteki kütlesiymiş gibi düşünülür.

3. Her atomun kütlesi, mol kütlesine bölünerek mol sayısına dönüştürülür.

4. Elde edilen mol sayıları kesikli ya da virgüllü ise en küçük tam sayılara (ortak katların en küçüğü) dönüştürülür. Bileşiğin basit formülü yazılmış olur.

Örnek

Sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşan organik bir bileşiğin yapısı analiz edildiğinde bileşiğin kütlece %75'nin karbon atomlarından oluştuğu gözlenmektedir. Buna göre bileşiğin basit formülünü bulalım (C: 12 g/mol, H: 1 g/mol).

Strateji

Kütlece yüzde değerleri atom kütlelerine bölünerek en küçük tam sayıya dönüştürüldüğünde basit formül bulunur.

Çözüm

Bileşiğin formülü C_xH_y olsun. Bileşiğin kütlesini 100 g olarak kabul edersek bileşikte 75 g C ve 25 g da H atomu vardır. Buradan C ve H atomlarının mol sayısını, bu kütleleri, mol kütlelerine bölerek hesaplayabiliriz.

$$n_C = \frac{75}{12} = \frac{25}{4} \qquad n_H = \frac{25}{1} = 25$$

Bu mol sayıları kullanılarak formül yazılırsa $(C_{25/4}H_{25})$ ve her iki atomun sayısı $\frac{25}{4}$'e bölünürse CH_4 formülü bulunur. Bileşiğin basit formülü CH_4'dır.

b. Molekül Formülü

Basit formüller bir bileşikteki atomların gerçek sayısını göstermeyebilir. Molekül formülü, bileşiğin bir molünde bulunan atomların gerçek sayılarını belirtir. Bileşiklerin basit formüllerinden yola çıkılarak molekül formülleri bulunabilir ancak bunun için bileşiğin kütle spektrometresi ile bulunan mol kütlesi bilinmelidir. Bileşiğin mol kütlesi, molekül formülünün kütlesine eşittir ve basit formülünden elde edilen kütlenin tam sayılı bir katıdır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: *Benzenin ve asetilenin basit ve molekül formülü*

	Benzen	Asetilen
Molekül Formülü	C_6H_6	C_2H_2
Basit Formül	CH	CH

Basit formül kütlesi ile molekül formülünün kütlesi arasında aşağıdaki bağıntı kullanılabilir.

Molekül formülünün kütlesi = n · (basit formülünün kütlesi)

Bir bileşiğin basit formülünden yola çıkılarak molekül formülü bulunurken aşağıdaki işlemler uygulanır:

1. Bileşiğin basit formülü bulunur.

2. Bileşiğin mol kütlesi bulunur.

3. Bileşiğin molekül formülünün kütlesi ve basit formülünün kütlesi arasındaki yukarıda verilen bağıntıdan n sayısı bulunur.

4. Bileşiğin basit formülü bu n sayısı ile genişletilerek molekül formülü yazılır.

Örnek

Basit formülü CH_3 olan bir bileşiğin mol kütlesi 30 gramdır. Bileşiğin molekül formülünü bulalım (C: 12 g/mol, H: 1 g/mol).

Strateji

Önce bileşiğin basit formülünün kütlesi hesaplanır.

$$\underbrace{C}_{12g}\,\underbrace{H_3}_{3g} = 12\,g + 3 \cdot 1\,g = 15\,g$$

Bileşiğin mol kütlesi, basit formülünün kütlesinin tam sayılı katıdır. Bu tam sayı değeri belirtildiğinde molekül formülü bulunur.

Çözüm

Basit formül kütlesi, molekül formülü ile basit formülü arasındaki bağıntıdan yararlanılarak yazılırsa

$$\underbrace{\text{molekül formül kütlesi}}_{30\,g} = n \cdot \underbrace{\text{basit formül kütlesi}}_{15\,g}$$

n = 2 bulunur. Basit formül bu n sayısı ile genişletilirse $2 \cdot CH_3 = C_2H_6$ formülü bulunur. Bu formül, bileşiğin molekül formülüdür.

Örnek

Sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşan bir organik bileşiğin mol kütlesi 80 g'dır. Bu bileşiğin kütlece %10'u hidrojen atomundan oluştuğuna göre bileşiğin basit ve molekül formülünü bulalım (C:12 g/mol, H:1 g/mol).

Çözüm

1. Yol

Önce basit formül bulunur. Bileşik 100 g kabul edilirse 10 g'ı H ve 90 g'ı karbondur. Buradan mol sayılarını hesaplayalım.

$$\left.\begin{aligned} n_C &= \frac{90}{12} = 7,5 \\ n_H &= \frac{10}{1} = 10 \end{aligned}\right\} C_{7,5}H_{10}$$

En küçük tam sayıya dönüştürülürse

$C_{\frac{7,5}{2,5}}H_{\frac{10}{2,5}} = \underbrace{C_3H_4}_{\text{basit formülü}}$ bulunur.

Basit formül kütlesi: $3 \cdot 12 + 4 \cdot 1 = 40$ g'dır.

Molekül formül $=$ n $\cdot$ Basit formül

$80 = n \cdot (40)$ ise $n = 2$ bulunur.

Basit formül bu sayı ile genişletilirse

$2 \cdot C_3H_4 = \underbrace{C_6H_8}_{\text{molekül formülü}}$ bulunur.

2. Yol

80 g bileşikteki atomların kütlelerini ve buradan da mol sayılarını bulalım.

80 g bileşiğin

→ %10'u hidrojen (8 g) $n_H = \frac{8}{1} = 8$

→ %90'ı karbon (72 g) $n_C = \frac{72}{12} = 6$

Hesaplanan mol sayıları, bileşiğin mol kütlesinden bulunduğu için bir mol bileşikteki atomların mol sayıları belirlenmiştir.

$\underbrace{C_6H_8}_{\text{molekül formülü}}$ $\underbrace{C_3H_4}_{\text{basit formülü}}$

Alıştırma

1) Bir organik bileşiğin 30 gramında 2 gram hidrojen atomu vardır. Bu bileşiğin kütlece $\frac{2}{5}$'i karbon ve $\frac{8}{15}$ i oksijen atomundan oluşmaktadır. Bu bileşiğin mol kütlesi 180 g olduğuna göre bileşiğin basit ve molekül formülünü bulunuz.

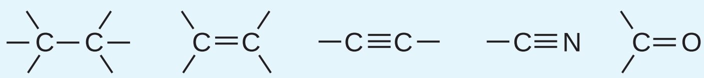
2) Basit formülü CH_3O olan bir bileşiğin mol kütlesi 62 g'dır. Bileşiğin molekül formülünü bulunuz.

2.3. DOĞADA KARBON

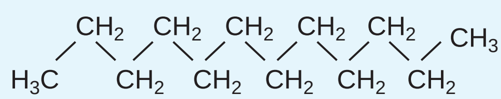
Periyodik sistemin 14. grubunda yer alan ve ametal özellik gösteren karbon, tüm canlıların yapısında bulunur. Özellikle insan vücudunda oksijenden sonra kütlece en çok bulunan element olması nedeniyle hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Organik bileşiklerin temelini oluşturan karbonun bu kadar çok bileşiğin yapısında bulunabilmesini ve birçok bileşiği oluşturabilmesini nasıl açıklayabiliriz? Bu durum, karbonun bağ yapma kapasitesinin yüksek oluşu ile açıklanabilir. Karbonun bağ yapma kapasitesini, bağ yapma kapasitesi yüksek diğer atomların özellikleri ile karşılaştırarak açıklamaya çalışalım.

a. Karbon Atomunun Bağ Yapma Özelliği

Karbonun atom numarası 6'dır ve karbon atomu 4 tane değerlik elektronuna sahiptir. Bu nedenle karbon, değerlik elektronlarını kullanarak kendi atomları arasında ya da farklı atomlarla tekli, ikili ve üçlü bağlar oluşturabilir.

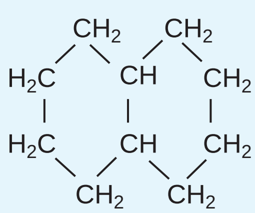


Karbon atomunun 4 tane bağ oluşturabilmesi, sonsuz sayıda karbon atomunun birbirine bağlanarak düz zincirli ve halkalı yapılar ya da dallanmış yapılar oluşturabilmesine imkân vermektedir.



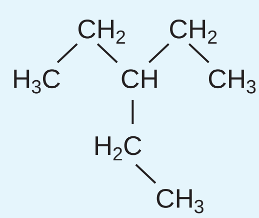
Kimyasal formülü: $C_{12}H_{26}$

Düz zincirli yapı



Kimyasal formülü: $C_{10}H_{18}$

Halkalı yapı



Kimyasal formülü: C_7H_{16}

Dallanmış yapı

Fosfor ve kükürdün çok sayıda atomunun birbirine bağlanması, silisyum ve azota göre daha yaygındır ancak bunlar, karbonla karşılaştırılamayacak kadar sınırlı sayıdadır. Peki, bu durum neden kaynaklanmaktadır? Karbonu bu kadar eşsiz kılan şey nedir?

Yukarıdaki soruların yanıtı bağ enerjilerinde ve kararlılıkta saklıdır. Tablo 2.2'deki bağ enerjileri incelendiğinde bağ enerjisi en yüksek olan, C–C bağıdır. Bu durum, karbon atomları arasındaki bağın diğer bağlara göre daha kararlı olduğunu göstermektedir. Karbon atomu hem bağ enerjisinin yüksek olması (kararlı) hem de fazla sayıdaki değerlik elektronları (4 tane değerlik elektronu) sayesinde 4 bağ yapabilmekte; düz zincirli, dallanmış ve halkalı yapıları oluşturabilmektedir.

Tablo 2.2: *Karbon atomuna komşu atomların bağ enerjileri*

Bağ	Bağ Enerjisi (kJ/mol)
B – B	293
P – P	197
O – O	142
S – S	268
C – C	347
Si – Si	340

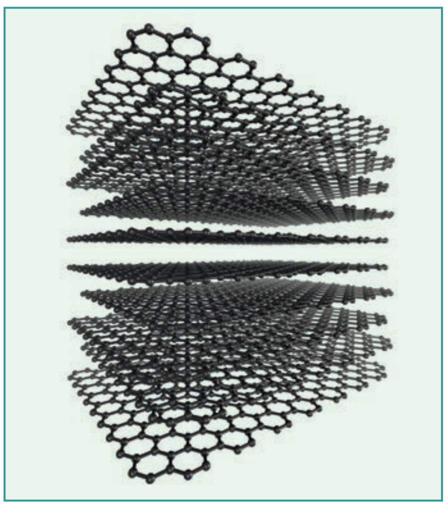
b. Karbon Atomunun Allotropları (Elmas, Grafit, Fullerenler)

Karbon atomunun bağ yapma kapasitesinin yüksek oluşu, atomun çok sayıda bileşik oluşturabilmesine imkân verdiği gibi günlük yaşantımızda önemli kullanım alanlarına sahip allotroplar oluşturmasını da sağlanmaktadır. Bir elementin atomlarının farklı sayı ve dizilişte bir araya gelerek oluşturduğu maddelere **allotrop** denir.

Karbonun en bilinen allotropları elmas ve grafittir. Elmas ve grafit dışında karbonun başka allotropları da vardır. Bunlardan en önemlileri son yıllarda birçok araştırmaya konu olan ve top, çubuk, tüp şeklinde olabilen fullerenlerdir.

Grafit ve Grafen Tabakalar

Grafit, karbonun yaygın olan bir allotropudur. Yumuşak ve kırılgan, kâğıt üzerinde iz bırakan, yağlı ve siyah renkli, katı bir maddedir. **Grafit**, altıgenlerden oluşmuş **grafen** adı verilen düzlemsel tabakalardan meydana gelir (Görsel 2.3). Her bir karbon atomu, aynı düzlemde 3 farklı karbon atomuna bağlanarak altıgen bir yapı oluşturur. Karbon atomlarının oluşturduğu altıgenlerden meydana gelen grafen tabakaları arasında zayıf van der Waals (van der Vals) etkileşimleri vardır. Grafen tabakalar kuvvet uygulandığında birbiri üzerinde kolayca kayar. Grafitin bu özelliği, iyi bir yağlayıcı madde olmasını sağlar. Bu nedenle grafit, bazı makinelerde yağlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Grafit, içine biraz kil katılarak sertleştirilip



Görsel 2.3: *Grafitte karbon atomlarının dizilişi*

kurşun kalemlerin içinde kullanılır (Görsel 2.4). Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan grafit, uzay araçlarında ısı kalkanı yapımında kullanılmaktadır. İyi bir elektriksel iletkenliğe sahip olan grafit; çamaşır makinesi, elektrikli süpürge gibi cihazların elektrik motorlarında kullanılır. Günümüzde özellikle lityum pillerinde grafit elektrotlar kullanılmaktadır. Grafit, doğal kaynaklardan (Sri Lanka, Sibirya, Kuzey Amerika, Meksika) elde edilebildiği gibi kok kömürünün çok yüksek sıcaklıklarda işlenmesi ile yapay olarak da elde edilir.



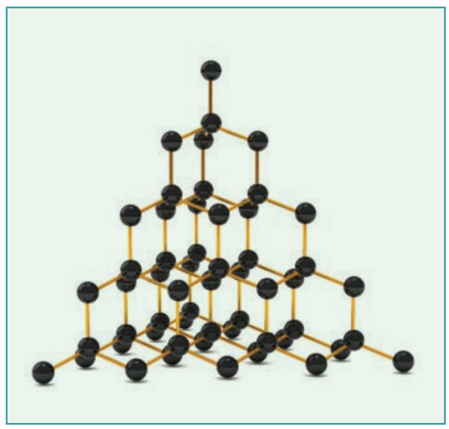
Görsel 2.4: *Grafit, kurşun kalemlerin içinde kullanılır.*

Son yıllarda elektriğin depolanması için geliştirilen pil sistemlerinde grafen tabakalar araştırmalara konu olmuştur. Grafen tabakalarla yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar alınmıştır. Ayrıca grafen; transistörlerin üretiminde, sensör teknolojisinde, bilgi depolama sistemlerinde, hidrojen gazının depolanmasında da kullanılmaktadır. Grafenin kullanım alanları ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir.

Elmas

Saf elmas, bilinen en sert doğal maddedir. Renksiz ve saydam olan saf elmasın saflığı başka minerallerle bozulursa rengi, pastel renklerden mat siyah renge kadar çeşitli renklerde olabilir. Kimyasal olarak tepkimeye girme etkinliği az bir madde olsa da yüksek sıcaklıklarda elmasın yanması sağlanabilir (Elmas, havada 850 °C'ta, havasız ortamda 1500 °C'ta yanar.). Elmasın erime noktası ise 3500 °C'tur. Elmas, grafitin aksine elektriği iletmez ve yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Elması oluşturan her bir karbon, 4 farklı karbon atomu ile kovalent bağ yapar (Görsel 2.5).

Karbon atomlarının dizilişinden dolayı herhangi iki elmas birbirinin aynı değildir. Grafitten yüksek sıcaklık ve basınçta yapay olarak üretilebilmektedir.



Görsel 2.5: *Elmasta karbon atomlarının dizilişi*

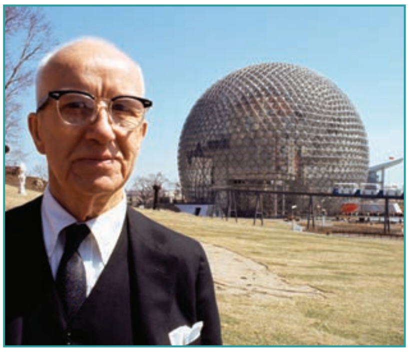
Araştırma

Doğada allotropları bulunan tek element karbon değildir. Başka elementlerin de allotropları vardır. Başka hangi elementlerin, ne tür allotropları olduğunu araştırarak edindiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

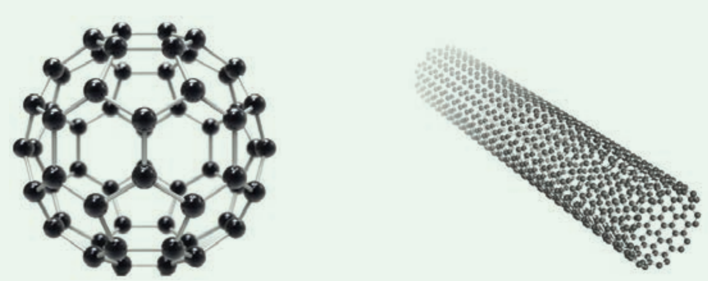
Fullerenler

Karbonun yapay olarak üretilen allotroplarından Fullerenler, nanometre (1 nm $=10^{-9}$ m) boyutundadır. Fullerenler adını Richard Buckminster Fuller'den (Riçırt Bekminister Fuler, Görsel 2.6) almıştır. Tamamen karbon atomlarından oluşan fullerenler, küre (buckyball), tüp (nanotüpler) şeklinde olabilir. İlk bulunan Fulleren, altıgen ve beşgenlerden meydana gelmiş 60 tane karbon atomundan oluşmakta ve futbol topuna benzemektedir (Görsel 2.7.a).

1991 yılında Japon bilim insanı Sumi Lijima (Sumi Licima) tarafından ilk defa keşfedilen ve tüp şeklinde olan nanotüpler, grafen tabakalarının tüp şeklinde yuvarlanması ile elde edilmektedir (Görsel 2.7.b).



Görsel 2.6: *Richard Buckminster Fuller (1895-1983): Fullerenlerin geometrik yapısı, 1967 yılında Montreal Fuarı'nda, Fuller'in yaptığı jeodezik kubbeye benzer. Bu nedenle Fullerenlere bu bilim insanının adı verilmiştir.*



(a) *(b)*

Görsel 2.7: a. *Fulleren C_{60} molekülünde karbon atomlarının dizilişi* ***b.*** *Nanotüpte karbon atomlarının dizilişi*

Fullerenler çok küçük boyutlarda ve bazı önemli özelliklere sahip olmaları nedeniyle nanoteknolojinin gelişmesinde ve bu alandaki araştırmaların artmasında önemli bir yere sahiptir. Fullerenler yüksek dayanıklılığa ve aynı zamanda büyük bir esnekliğe sahiptir. Kimyasal etkinliği olmayan Fullerenler, çok düşük sıcaklıklarda bile elektriksel iletkenliğe sahip olabildikleri için süper iletken olarak kullanılmaktadır. Fullerenlerin önemli kullanım alanları vardır. Organik moleküllerin belirlenmesi için moleküler sensörlerde, uzay araçlarında ısı kalkanı olarak filtre membranlarında, televizyon ekranlarında, keskin görüntü veren yüksek çözünürlüklü taramalı tünelleme mikroskoplarında, güneş pillerinde Fullerenler kullanılmaktadır. Tıp alanında yapılan son çalışmalar, Fullerenlerin kimyasal etkinliği az olduğu için ilaç, sıvı ya da bir iyonun vücudun istenen dokusuna taşınmasında kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır. Nanotüplerden yapay damar yapılması, zarar görmüş kas ya da dokuların tamiri, kanser tedavisinde nanotüplerin kullanılması üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca uzay çalışmalarında nanotüplerden yararlanarak uzayın bir bölgesine uzay asansörü yapılması, yüksek teknoloji ile ilgili çalışmalar arasında yer almaktadır.

2.4. LEWİS FORMÜLLERİ

9. sınıf "Kimyasal Türler Arası Etkileşimler" ünitesinde H_2, Cl_2, O_2, N_2, HCl, H_2O, NH_3, CO, CO_2 gibi bazı basit moleküllerin Lewis formülünü yazmayı öğrenmiştiniz. Bu bölümde daha çok organik bileşikler olmak üzere bazı kovalent bileşiklerin Lewis formülü üzerinde durulacaktır.

Kimyasal olaylarda atomların en son katmanlarında yer alan değerlik elektronları bağ oluşumunda kullanılır. Bu nedenle atomların bağ oluşumlarını, bağ yapma kapasitelerini açıklamak için değerlik elektronlarının atom sembolü etrafında noktalar ile gösterildiği Lewis formülleri kullanılır. Kovalent bir bileşikte elektron ortaklığında bulunan bir atom, değerlik elektron sayısını, kendisiyle aynı periyotta bulunan soy gazın son katmanındaki elektron sayısına (8 elektron) benzetir (hidrojen atomu hariç). Buna **oktet kuralı** denir. Hidrojen atomu ise değerlik elektron sayısını helyumun son katmanındaki elektron sayısına (2 elektron) benzetir. Buna **dublet kuralı** denir. Kovalent yapılı bir bileşiğin Lewis formülü yazılırken atomların oktet ve dublet kuralına uydukları düşünülerek elektron nokta yapıları yazılır.

Önceki bölümde karbon elementinin 4 tane bağ yapabildiğini ve karbon elementinin doğada çok sayıda bileşik oluşturabilmesinin nedenlerini açıklamıştık. Karbon elementinin yaptığı bazı bileşiklerin Lewis formüllerini inceleyelim. Bunun için kovalent bileşiklerin Lewis formüllerini yazarken uyulması gereken bazı kurallara dikkat etmeliyiz. Bu amaçla aşağıdaki örneği inceleyiniz.

Örnek

Organik bir bileşik olan CH_4 molekülünün Lewis formülünü yazalım ($_1H$, $_6C$).

Strateji

Hidrojen dublet kuralına, karbon oktet kuralına uyar. Bağ oluşumunda bu kural dikkate alınır.

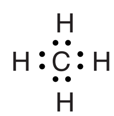
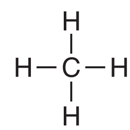
Çözüm

Lewis formülü yazılırken aşağıdaki işlem basamakları takip edilir:

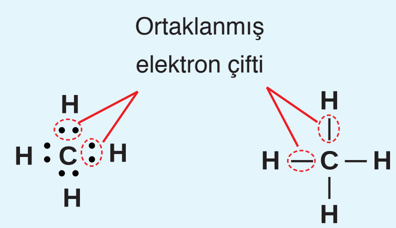
1. Elektron dizilimleri yapılarak her bir atomun değerlik elektron sayıları bulunur.

Elektron Dizilimi	Değerlik Elektron Sayısı	Grup Numarası	Lewis Formülü	Bağ Kapasitesi (Yalnız elektron sayısı, bağ sayısını verir.)
C: $1s^2\ \underbrace{2s^2 2p^2}$ değerlik elektron sayısı 4	4	14(4A)	$\cdot\dot{\underset{\cdot}{C}}\cdot$	4
H: $\underbrace{1s^1}$ değerlik elektron sayısı 1	1	1(1A)	H•	1

2. Karbon atomu merkeze yazılarak hidrojen atomları karbon atomuna bağlanır. Bağ yapımına katılan elektron çiftlerinin çizgi bağ şeklinde gösterilmesiyle Lewis formülleri, yapı formülü olarak da gösterilir. Bir molekülde tüm atomlar arasındaki bağları açıkça gösteren formül **yapı formülü (açık formül)** olarak adlandırılır. Bir molekülde genellikle merkez atom, en fazla bağ yapan ve sayıca az olan atomdur. Bazı moleküllerde veya iyonlarda birden fazla merkez atom bulunabilir. Önce merkez atom yazılır ve diğer atomlar merkez atoma bağlanır. Her bir atomun dublet ya da oktet kuralına uyması için bağ yapımına katılmayan elektronlar atom sembolü üzerinde noktalarla gösterilerek dublet ya da oktetine tamamlanır.

Bileşik	Lewis Formülü	Yapı Formülü
CH_4		

3. Bağ yapımına katılan elektronlar **ortaklanmış** veya **bağlayıcı elektronlar**dır. Bağ yapımına katılmayan elektronlar **ortaklanmamış elektronlar**dır. CH_4 molekülünde bağ yapımına katılmayan yani ortaklanmamış elektron yoktur.



Atomların değerlik elektron sayısı (bağ sayısı) ile grup numarası arasındaki ilişkiye dikkat ediniz. Aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.

Element	Değerlik Elektron Sayısı	Bağ Sayısı	Grup Numarası
C	4	4	14 (4A)
N*	5	3	15 (5A)
O	6	2	16 (6A)
F	7	1	17 (7A)

*N atomu, NH_4^+ iyonunda 4 bağ yapmıştır. Oktete ya da dublete uyma kesin bir kural değildir.

CH_4 molekülüne ait Lewis formülünün yazılmasında ele alınan işlem basamaklarını kullanarak başka bir molekülün Lewis formülünü yazalım.

Örnek

Anorganik bir bileşik olan HCN molekülünün Lewis formülünü yazalım ($_1$H, $_6$C, $_7$N).

Strateji

Değerlik elektron sayısı, elektron dizilimi yapıldığında en son enerji katmanındaki elektron sayısına eşittir.

Çözüm

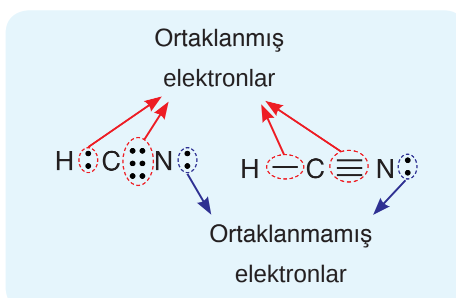
1. Elektron dizilimleri yapılarak her bir atomun değerlik elektron sayıları bulunur.

Elektron Dizilimi	Grup Numarası	Değerlik Elektron Sayısı	Lewis Formülü	Bağ Kapasitesi (Yalnız elektron sayısı, bağ sayısını verir.)
C: $1s^2\ \underbrace{2s^2 2p^2}$ değerlik elektron sayısı 4	14 (4A)	4	·Ċ· (C, 4 tek elektron)	4
H: $\underbrace{1s^1}$ değerlik elektron sayısı 1	1 (1A)	1	H·	1
N: $1s^2\ \underbrace{2s^2 2p^3}$ değerlik elektron sayısı 5	15 (5A)	5	·Ṅ· (N, 3 tek elektron, 1 elektron çifti)	3

2. Karbon atomu merkeze yazılarak hidrojen ve azot atomları karbon atomuna bağlanır.

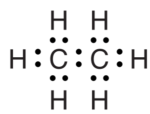
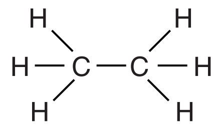
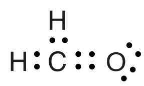
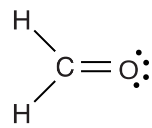
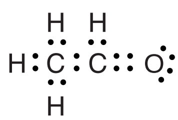
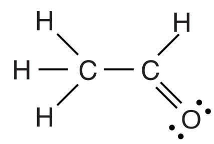
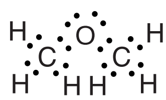
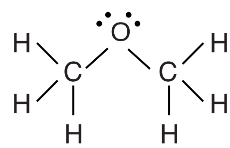
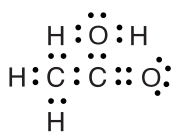
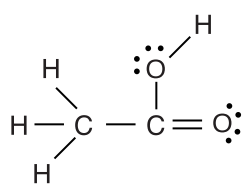
Bileşik	Lewis Formülü	Yapı Formülü
HCN	H : C ⋮⋮ N :	H — C ≡ N :

3. Bağ yapımına katılan elektronlar **ortaklanmış** veya **bağlayıcı elektronlar**dır. Bağ yapımına katılmayan elektronlar **ortaklanmamış elektronlar**dır.



Tablo 2.3'te verilen organik bileşiklerin Lewis formüllerini inceleyiniz.

Tablo 2.3: *Bazı organik bileşiklerin Lewis formülleri*

Bileşik	Lewis Formülü	Yapı Formülü
C_2H_6		
CH_2O		
CH_3CHO		
CH_3OCH_3		
CH_3COOH		

Alıştırma

Aşağıda verilen bazı kovalent bileşiklerin Lewis formüllerini yazınız ($_1H$, $_6C$, $_8O$, $_9F$).

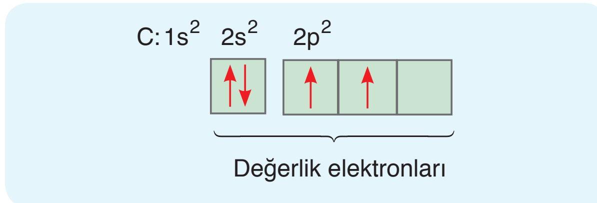
a) C_2H_4 **b)** C_2H_2 **c)** C_3H_6 **ç)** CO_2 **d)** CF_4

2.5. HİBRİTLEŞME-MOLEKÜL GEOMETRİLERİ

Bu bölümde karbon atomunun yaptığı tek, çift ve üçlü bağların oluşumları yorumlanacaktır. Ayrıca molekül geometrileri ve molekül geometrisine etki eden faktörler ele alınacaktır.

2.5.1. Hibritleşme ve Çoklu Bağlar

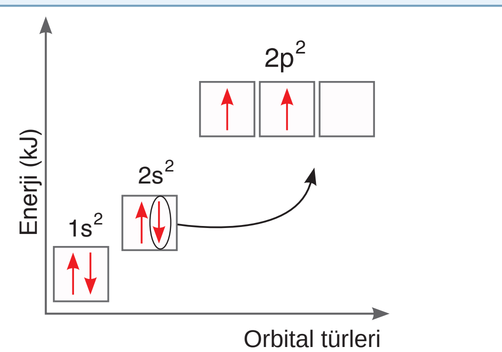
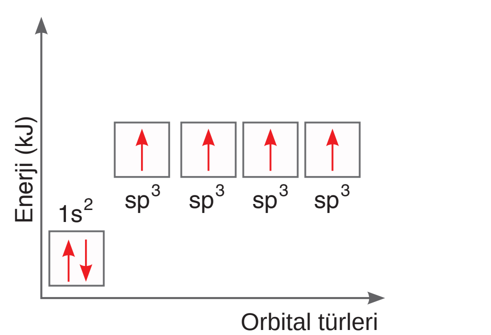
Karbon atomunun değerlik elektron sayısı 4 olmakla birlikte bu değerlik elektronlarından sadece 2 tanesi değerlik orbitallerinde yalnız hâlde bulunmaktadır. Karbon atomunun temel hâl elektron dizilimi yapıldığında bu durum daha iyi görülmektedir.



Bu durumda karbon atomunun sadece yalnız kalan 2 elektronu ortaklaşa kullanması gerekmektedir. Buna rağmen karbon atomu, 4 elektronun hepsini ortaklaşa kullanabilmekte ve böylece 4 bağ yapabilmektedir. Bu durumu nasıl açıklayabiliriz?

Atomlar daha kararlı yapıya ulaşmak için bağ yapar. Bağ oluşumu esnasında karbon atomunda 2s orbitalinde bulunan 1 elektron, boş 2p orbitaline geçer. Normalde böyle bir durum kendiliğinden oluşmaz. 2s ve 2p orbitallerinin enerji düzeyleri farklı olduğu için 2s orbitalindeki elektronun 2p orbitaline geçmesi için dışarıdan enerji gerekir ve bu enerji, bağ oluşumundan sağlanır. 2s orbitalindeki elektronlardan birinin 2p orbitaline geçmesi ile yeni bir durum meydana gelir. Karbon atomunun bağ yapmaya hazır 4 tane yalnız elektronu vardır ve bununla birlikte karbon atomunda s ve p orbitallerinden farklı yeni orbitaller oluşur. Bu orbitallere **hibrit orbitalleri,** bu duruma da **hibritleşme** denir. Tablo 2.4, karbon atomunun temel hâl elektron dizilimini ve hibritleşmeden sonra oluşan hibrit orbitallerinin enerji katman grafiklerini göstermektedir.

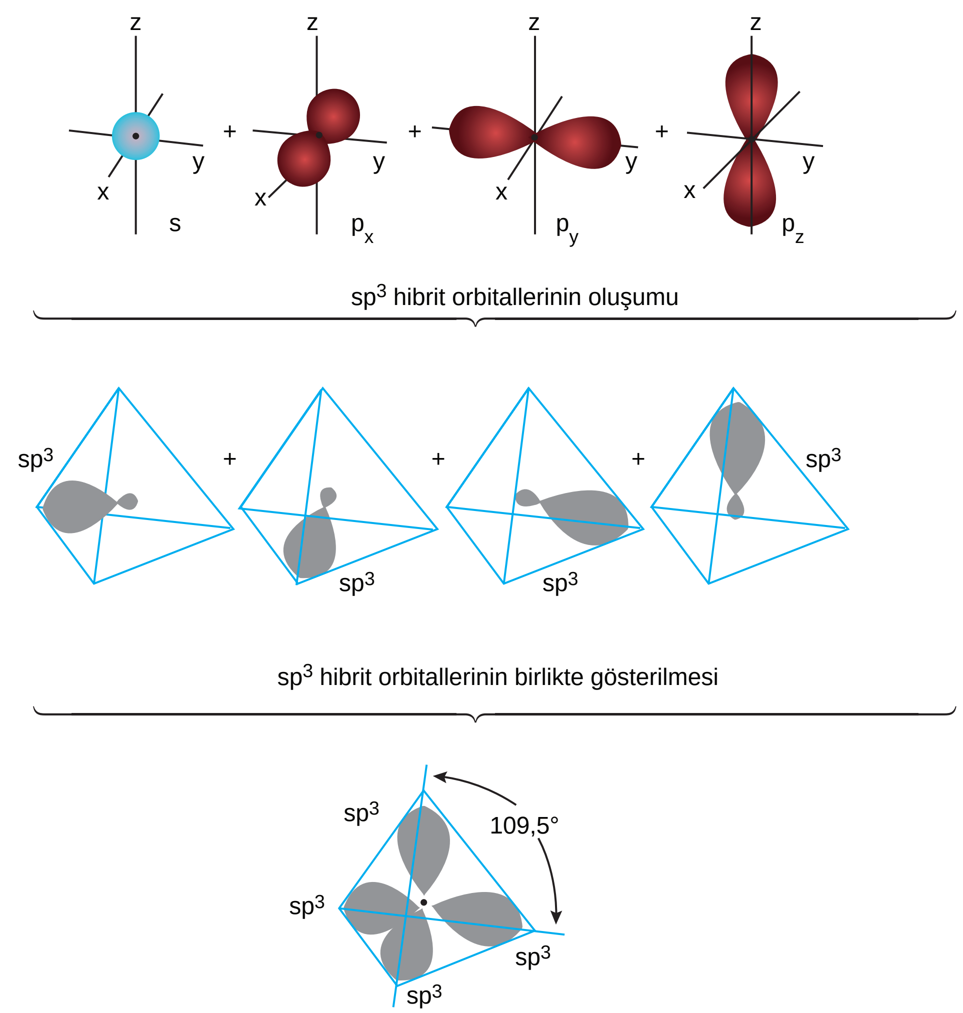
Tablo 2.4: *Karbon atomunun temel hâl elektron dizilimi ve hibrit orbitallerinin gösterilmesi*

Temel Hâl Elektron Dizilimi	Hibrit Orbitalleri
	

Karbon atomunda Tablo 2.4'te görüldüğü gibi 1 tane s orbitali ve 3 tane p orbitali hibritleşmeye katılırsa aynı enerji düzeyine sahip, özdeş 4 tane sp^3 hibrit orbitali oluşur. sp^3 hibrit orbitallerinin enerjileri, s orbitalinin enerjisinden yüksek; p orbitallerinin enerjisinden düşüktür. Bir molekülde merkez atomun hibritleşmesine bakılarak moleküldeki bağların yapısı ve molekül geometrisi tahmin edilebilir. CH_4, C_2H_6, C_2H_4 ve C_2H_2 moleküllerinin yapısını ve moleküllerdeki bağların türünü, merkez atom olan karbon atomunun hibritleşmesinden yola çıkarak açıklayalım.

a. Tekli Bağların Oluşumu

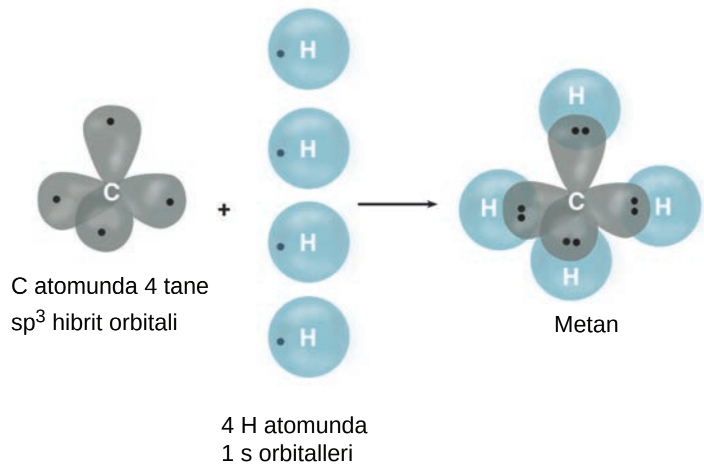
CH_4 molekülünde merkez atom olan karbon, 4 tane H atomu ile 4 tane bağ oluşturmuştur. Bunun için karbon atomunda 1 tane s ve 3 tane p orbitalinin hibritleşmesi sonucu 4 tane özdeş sp^3 hibrit orbitali meydana gelmiştir. Karbon atomunda hibrit orbitallerinin oluşumu Görsel 2.8'de gösterilmiştir.



***Görsel 2.8:** C atomunda sp^3 hibrit orbitallerinin oluşumu*

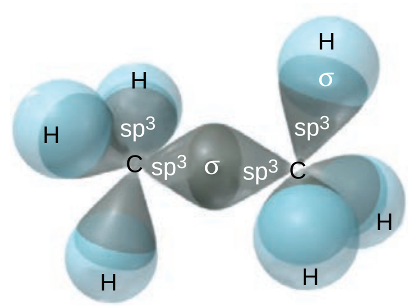
Karbon atomundaki sp^3 hibrit orbitallerinin uzaysal yönelimi (üç boyutlu gösterimi) Görsel 2.8'de verilmiştir. Her bir sp^3 hibrit orbitali arasındaki açı 109,5° dir ve bu geometrik yapı **düzgün dört yüzlü (tetrahedral)** olarak adlandırılır. Karbon atomu ile 4 tane hidrojen atomu etkileşime girdiğinde karbon atomunun 4 tane sp^3 hibrit orbitali ile hidrojen atomlarının 1 s orbitalleri birbiriyle doğrudan örtüşerek tekli bağları oluşturur. Orbitallerin doğrudan örtüşmesiyle oluşan bu bağ **sigma** (σ) **bağı** olarak adlandırılır. CH_4 molekülünde 4 tane sigma bağı vardır.

CH_4 molekülündeki C atomunun sp^3 hibrit orbitalleri ile H atomlarının 1 s orbitallerinin doğrudan örtüşmesini Görsel 2.9'da inceleyeceğiz.



Görsel 2.9: *C atomunun sp^3 hibrit orbitalleri ile H atomlarının 1 s orbitallerinin örtüşerek CH_4 molekülünü oluşturması*

C_2H_6 molekülündeki bağları ve molekül yapısını, merkez atomun hibritleşmesini kullanarak açıklayalım. C_2H_6 molekülünde iki tane merkez atom (karbon atomu) vardır. Karbon atomları sp^3 hibritleşmesi yapmıştır. Karbon atomları arasındaki sigma bağının oluşumu esnasında karbon atomlarının sp^3 hibrit orbitalleri örtüşürken karbon ve hidrojen atomları arasındaki sigma bağı, karbon atomlarının sp^3 hibrit orbitalleri ile hidrojen atomlarının 1 s orbitallerinin örtüşmesi ile oluşur (Görsel 2.10).

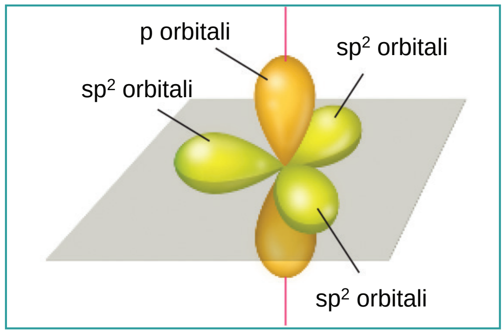


Görsel 2.10: *C_2H_6 molekülünde C – C ve C – H arasında oluşan sigma bağlarının gösterilmesi*

b. İkili Bağların Oluşumu

Karbon atomu sadece sp^3 hibritleşmesi yapmaz. Bazı durumlarda p orbitallerinden bazıları hibritleşmeye katılmayabilir. Bu durumu açıklamak için C_2H_4 molekülünün yapısını inceleyelim.

Karbon atomu sp^2 hibritleşmesi yaptığında 1 tane s orbitali ile 2 tane p orbitali hibritleşmeye katılır. p orbitallerinden biri, hibritleşmeye katılmaz (Görsel 2.11.). Bu durumda 3 tane sp^2 hibrit orbitali oluşurken 1 tane p orbitali hibritleşmeye katılmamıştır (Tablo 2.5).



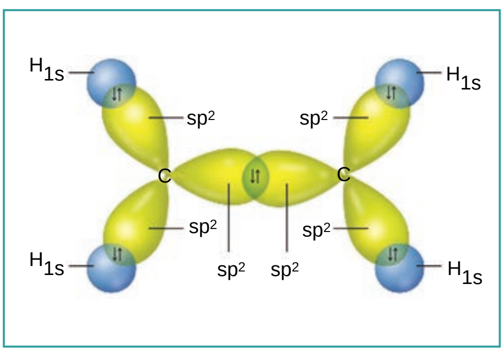
***Görsel 2.11:** C atomunda sp^2 hibrit orbitalleri ve hibritleşmeye katılmayan p orbitalleri*

***Tablo 2.5:** Karbon atomunda sp^2 hibritleşmesi*

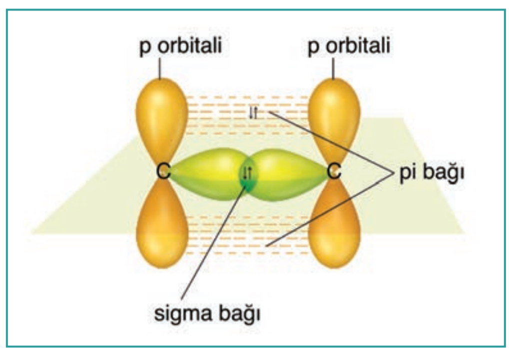
Temel Hâl Elektron Dizilimi	Hibritleşme
1s [↑↓] 2s [↑↓] 2p [↑][↑][ ]	1s [↑↓] sp^2 orbitalleri [↑][↑][↑] 2p [↑]

C_2H_4 molekülünde, karbon atomlarının sp^2 hibrit orbitalleri ile hidrojen atomlarının 1 s orbitalleri doğrudan örtüşerek sigma bağlarını oluşturur (Görsel 2.12.).

Karbon atomlarının birbirine yaklaşmasıyla karbon atomlarında hibritleşmeye katılmayan p orbitalleri birbirine yaklaşır. Paralel konumda birbirine yaklaşan p orbitalleri arasında doğrudan örtüşme meydana gelmez. Bu durumda, doğrudan örtüşmede meydana gelen bağlanmaya göre atomlar arasında daha zayıf bir bağlanma gerçekleşir (Görsel 2.13.).



***Görsel 2.12:** C – C ve C – H arasında sigma bağının oluşumu*

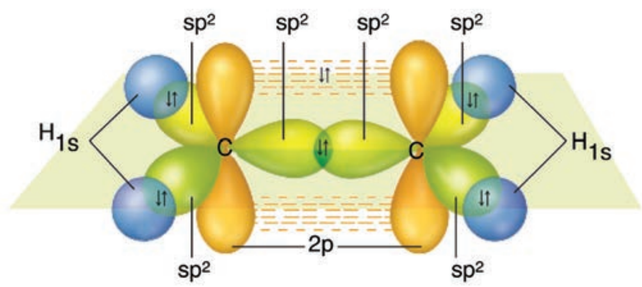


***Görsel 2.13:** C – C arasında pi bağının oluşumu*

!

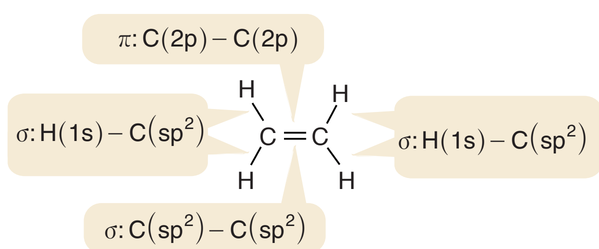
İki atom arasında oluşan ilk bağ her zaman sigma bağıdır. Hibritleşmeye katılmayan p orbitalleri, varsa, pi bağını oluşturur. Örneğin ikili bağda 1 tane sigma, 1 tane pi bağı vardır; üçlü bağda 1 tane sigma, 2 tane pi bağı vardır.

Hibritleşmeye katılmayan p orbitallerinin etkileşmesiyle oluşan bağa **pi** (π) **bağı** denir. Sigma ve pi bağlarının oluşumu Görsel 2.14'te görülmektedir.



Görsel 2.14: C_2H_4 *molekülünde sigma ve pi bağının oluşumu*

C_2H_4 molekülünde, karbon ve hidrojen atomları arasında sigma bağı oluşurken karbon-karbon atomları arasında 1 tane sigma, 1 tane de pi bağı oluşmuştur. Molekülde toplam 5 tane sigma bağı, 1 tane de pi bağı meydana gelmiştir (Görsel 2.15). Karbon-karbon arasındaki ikili bağ, karbon atomlarının kendi etrafında dönme hareketi yapabilmesine imkân vermez.



Görsel 2.15: C_2H_4 *molekülünde tekli ve ikili bağların gösterilmesi*

c. Üçlü Bağların Oluşumu

Karbon atomları arasında tekli ve ikili bağlar oluşabildiği gibi üçlü bağlar da oluşabilir. C_2H_2 molekülünün yapısını inceleyerek üçlü bağın oluşumunu açıklayalım.

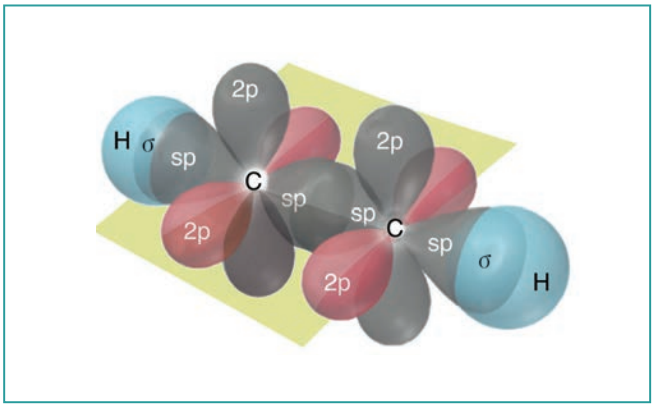
C_2H_2 molekülünde karbon atomları sp hibritleşmesi yapar. sp hibrit orbitalleri 1 tane s orbitali ile 1 tane p orbitalinin hibritleşmesi sonucunda meydana gelir. Elektron bulunduran 2 tane p orbitali ise hibritleşmeye katılmaz (Tablo 2.6).

Tablo 2.6: *Karbon atomunda sp hibritleşmesi*

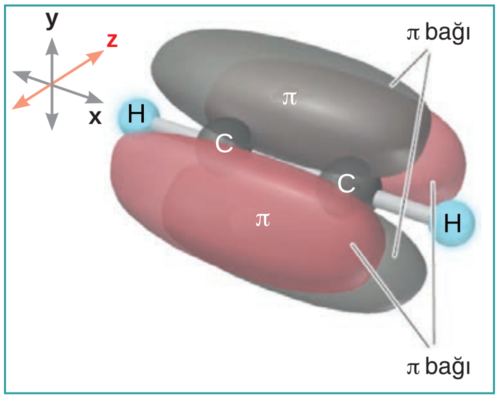
Temel Hâl Elektron Dizilimi	Hibritleşme
1s ↑↓ 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ _	1s ↑↓ sp orbitalleri ↑ ↑ 2p ↑ ↑

C_2H_2 molekülünde karbon atomlarının sp hibrit orbitalleri ile hidrojen atomlarının 1 s orbitalleri doğrudan örtüşerek sigma bağlarını oluşturur (Görsel 2.16).

Karbon atomlarının birbirine yaklaşmasıyla karbon atomlarında hibritleşmeye katılmayan 2 tane p orbitali, 2 tane pi bağını oluşturur (Görsel 2.17).

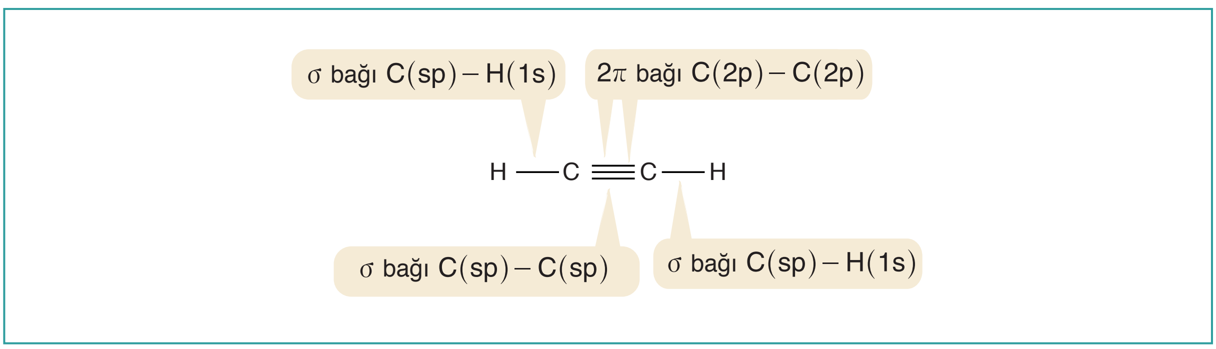


Görsel 2.16: C_2H_2 *molekülünde sigma* (σ) *bağlarının oluşumu*



Görsel 2.17: C_2H_2 *molekülünde pi* (π) *bağlarının oluşumu*

C_2H_2 molekülünde karbon ve hidrojen atomları arasında sigma bağı oluşurken karbon-karbon atomları arasında 1 tane sigma, 2 tane de pi bağı oluşmuştur. Molekülde toplam 3 tane sigma bağı, 2 tane de pi bağı meydana gelmiştir (Görsel 2.18).

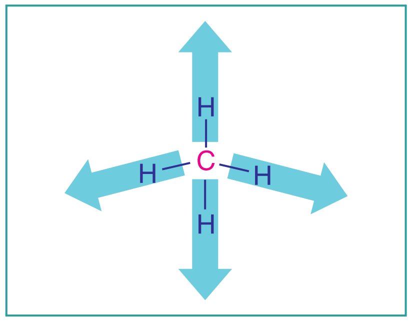


Görsel 2.18: C_2H_2 *molekülünde tekli ve üçlü bağların gösterilmesi*

2.5.2. VSEPR (Değerlik Katmanı Elektron Çifti İtmesi) Yaklaşımı ve Molekül Geometrisi

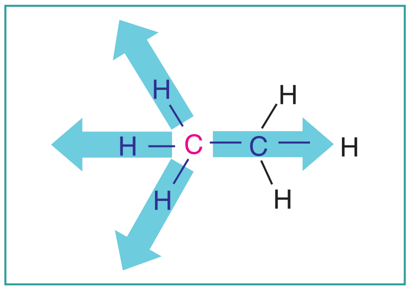
Bir molekülde ya da bir iyondaki merkez atomun hangi hibritleşmeyi yaptığını bulmak, molekülün yapısı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Merkez atomun hibritleşmesini bulmak için yaptığı sigma (σ) bağı sayısına ve varsa bağ yapımına katılmamış elektronlarına bakmamız yeterlidir. Bağ yapımında yer alan elektronlar ve bağ yapımına katılmamış elektronlar negatif yüklü olduğu için birbirini iter. Bunlar, itmenin etkisiyle birbirinden en uzakta olacak şekilde, merkez atom çevresinde belirli bir doğrultuda yer alır. Bu doğrultu sayısı, merkez atomun hibritleşme türünü verir.

CH_4 molekülünde merkez atom olan karbon, 4 tane hidrojen atomu ile bağ yapmıştır. Bağlar 4 farklı doğrultuda uzanır (Görsel 2.19). Bu nedenle hibritleşmede 4 tane orbital kullanılmıştır. 1 tane s orbitali ve 3 tane p orbitali hibritleşmeye katılmış yani 4 tane farklı doğrultu oluşturan 4 tane sp^3 hibrit orbitali meydana gelmiştir.



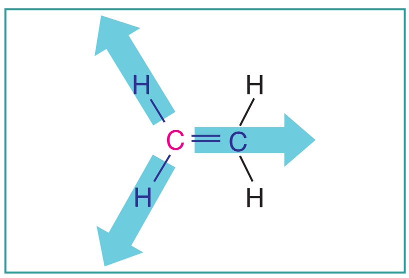
Görsel 2.19: CH_4 *molekülünde doğrultu sayısı*

C_2H_6 molekülünde de benzer bir durum vardır. Merkez atom olan karbon atomlarının çevresinde 4 tane doğrultu vardır (Görsel 2.20). Hibritleşmede 4 tane orbital kullanılmıştır (1 tane s orbitali, 3 tane p orbitali). Bu nedenle iki karbon atomu da sp^3 hibritleşmesi yapmıştır.



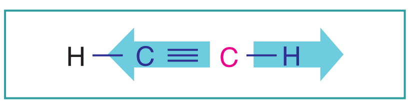
Görsel 2.20: C_2H_6 *molekülünde doğrultu sayısı*

C_2H_4 molekülünde merkez atom olan karbon atomlarının çevresinde 3 tane doğrultu vardır (Görsel 2.21). Hibritleşmede 3 tane orbital kullanılmıştır (1 tane s orbitali, 2 tane p orbitali). Bu nedenle iki karbon atomu da sp^2 hibritleşmesi yapmıştır. Hibritleşmeye katılmayan 1 tane p orbitali, karbon atomları arasında 1 tane pi (π) bağının oluşmasını sağlamıştır.



Görsel 2.21: C_2H_4 *molekülünde doğrultu sayısı*

C_2H_2 molekülünde merkez atom olan karbon atomlarının çevresinde 2 tane doğrultu vardır (Görsel 2.22). Hibritleşmede 2 tane orbital kullanılmıştır (1 tane s orbitali, 1 tane p orbitali). Bu nedenle iki karbon atomu da sp hibritleşmesi yapmıştır. Hibritleşmeye katılmayan 2 tane p orbitali, karbon atomları arasında 2 tane pi (π) bağının oluşmasını sağlamıştır.



Görsel 2.22: C_2H_2 *molekülünde doğrultu sayısı*

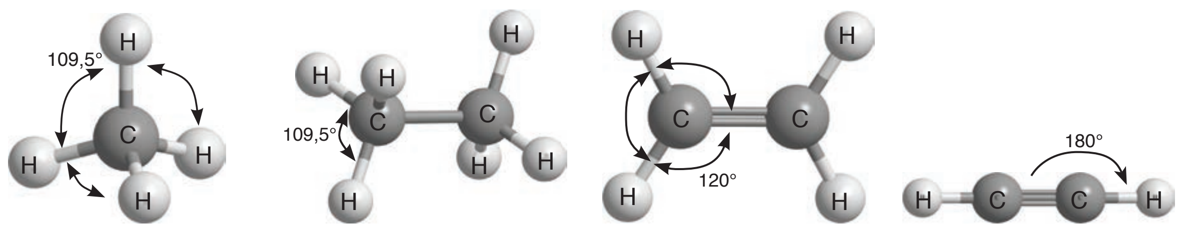
Yukarıdaki moleküllerde merkez atom, ortaklanmamış elektron ya da elektron çifti içermemektedir.

Bu nedenle merkez atomun çevresindeki doğrultular kolaylıkla görülebilmekte ve moleküllerin geometrileri rahatlıkla tahmin edilebilmektedir. CH_4 molekülünde ortaklanmış elektronların oluşturduğu 4 tane sigma bağı, merkez atom çevresinde birbirini iterek birbirinden en uzakta olacak şekilde, merkez atom çevresinde konumlanır.

Bu durumda oluşan yapı **düzgün dört yüzlü (tetrahedral)** yapıdır ve her bir bağ arasındaki açı **109,5°**dir (Görsel 2.23.a). C_2H_6 molekülünde de merkez atom olan karbon üzerinde ortaklanmamış elektron ya da elektron çifti yoktur. Karbon atomu çevresinde ortaklanmış elektronların oluşturduğu doğrultular, düzgün dört yüzlü (tetrahedral) yapıyı oluşturur. Karbon ve hidrojen atomları arasındaki bağ açıları 109,5°dir (Görsel 2.23.b).

C_2H_4 molekülünde ise merkez atom olan karbonun çevresinde ortaklanmış elektronların oluşturduğu bağlardan kaynaklanan 3 doğrultu vardır. Bu doğrultuların karbon atomu çevresinde birbirinden en uzakta olacak şekilde konumlanması sonucunda düzlemsel bir yapı oluşur. Molekül geometrisi, **düzlem üçgen** olarak adlandırılır ve karbon atomunun çevresindeki bağ açıları **120°**dir (Görsel 2.23.c).

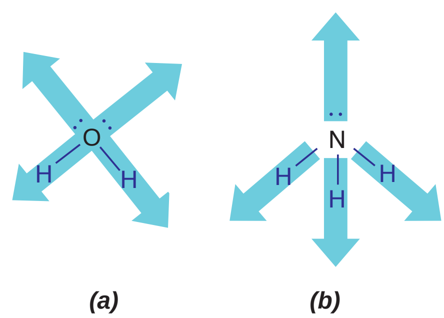
C_2H_2 molekülünde merkez atom olan karbonun çevresinde 2 doğrultu vardır. Bu doğrultuları oluşturan bağların merkez atom çevresinde konumlanması ile birlikte oluşan geometri **doğrusal** olarak adlandırılır. Bağlar arasındaki açı **180°**dir (Görsel 2.23.ç).



sp^3	sp^3	sp^2	sp
Düzgün dört yüzlü	Düzgün dört yüzlü	Düzlem üçgen	Doğrusal
109,5°	109,5°	120°	180°
(a)	***(b)***	***(c)***	***(ç)***

Görsel 2.23:* *a. CH_4, ***b.*** C_2H_6, ***c.*** C_2H_4 *ve* ***ç.*** C_2H_2 *moleküllerinde merkez atomun hibritleşme türü, molekül geometrisi ve bağ açıları*

H_2O ve NH_3 moleküllerinde **ortaklanmamış elektron çifti** içeren merkez atom olan O ve N atomları acaba hangi hibritleşmeyi yapar? Tahmin etmeye çalışalım. Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda H_2O ve NH_3 moleküllerinin Lewis formüllerini gösterelim. H_2O ve NH_3 moleküllerinin Lewis formülleri yazıldığında ortaklanmış ve ortaklanmamış elektronların oluşturduğu 4 doğrultu vardır (Görsel 2.24). Bu 4 doğrultu, hibritleşmeye 4 orbitalin katıldığını gösterir. Buna göre H_2O molekülündeki merkez atom oksijen ve NH_3 molekülündeki merkez atom azot sp^3 hibritleşmesi yapmalıdır.



Görsel 2.24:* *a. H_2O *ve* ***b.*** NH_3 *moleküllerinde ortaklanmış ve ortaklanmamış elektronların oluşturduğu doğrultular*

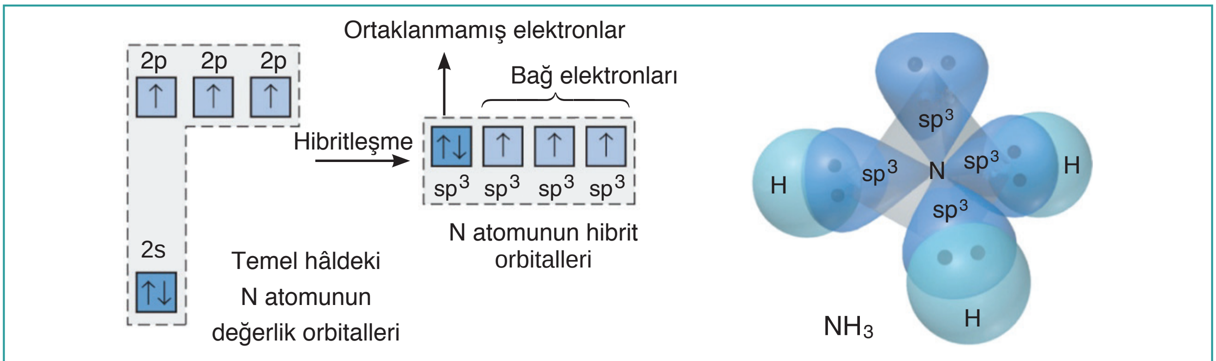
Merkez atom çevresindeki bu doğrultular molekülün geometrisini tahmin etmemize yardımcı olur. Acaba gerçekten H_2O molekülündeki merkez atom oksijen ve NH_3 molekülündeki merkez atom azot sp^3 hibritleşmesi mi yapmıştır?

H_2O ve NH_3 moleküllerinde merkez atomlar (O ve N) sp^3 hibritleşmesi yapmışsa düzgün dört yüzlü bir geometriye mi sahiptir? Ortaklanmış ve ortaklanmamış elektronlar molekül geometrisini nasıl etkiler?

Molekül ya da iyonlarda molekül geometrisinin belirlenmesinde merkez atomun çevresindeki ortaklanmamış elektron ya da elektron çiftlerinin de hesaba katılması gerektiğini açıklayan model **VSEPR modeli** [(Valence Shell Electron Pair Repulsion (valens şil elektron peyır repulşin)] olarak adlandırılır. Moleküllerin VSEPR gösteriminde **A** merkez atomu, **X** merkez atoma bağlı atomu ve **E** ortaklanmamış elektron çiftlerini simgeler. Ortaklanmamış elektron çiftleri ve ortaklanmış elektronlar birbirini iterek merkez atom çevresinde birbirinden en uzak konumda yer almaya çalışır. Böylece ortaklanmamış elektron çiftleri de molekülün geometrisinin belirlenmesinde etkin rol oynar.

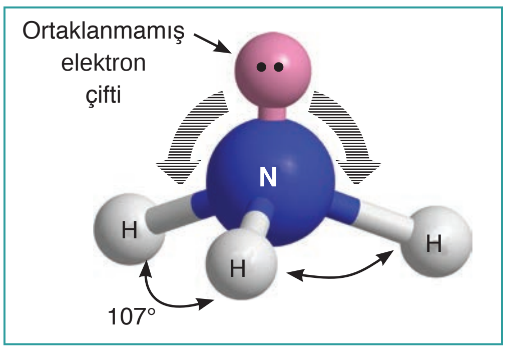
VSEPR modelini açıklamak için H_2O ve NH_3 moleküllerinde merkez atomun hibritleşmesini, elektron dizilimini de dikkate alarak yapalım. Buna bağlı olarak molekül geometrilerini açıklayalım.

NH_3 molekülünde azot atomunda 1 tane s orbitali ile 3 tane p orbitali hibritleşmeye katılarak 4 tane sp^3 hibrit orbitalini oluşturmuştur (Görsel 2.25). Ancak sp^3 hibrit orbitallerinden biri, tam doludur ve diğer 3 hibrit orbitalinde 3 tane yalnız elektron vardır. Bu nedenle bu üç sp^3 hibrit orbitali 3 tane hidrojen atomunun 1 s orbitali ile örtüşerek tekli bağ oluştururken tam dolu olan 1 tane sp^3 hibrit orbitali bağ yapımına katılmaz.



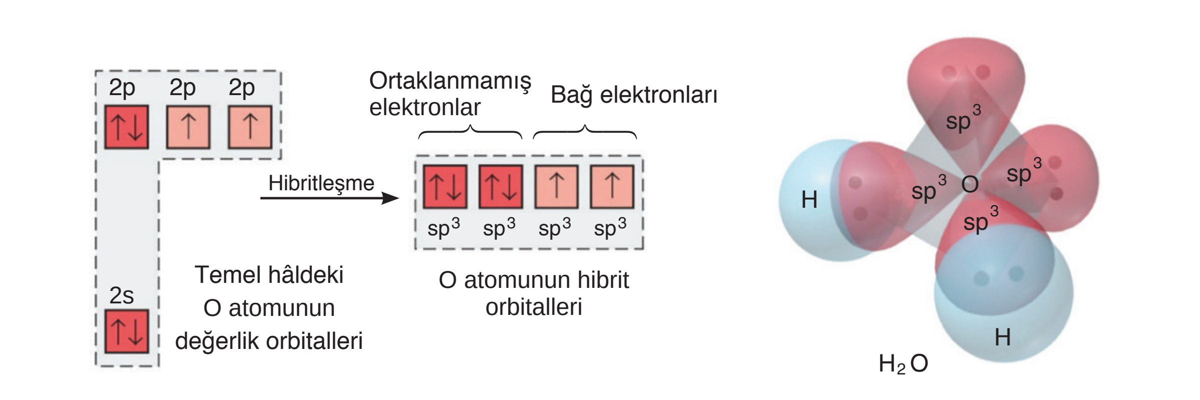
Görsel 2.25: NH_3 *molekülünde N atomunun* sp^3 *hibrit orbitalleri ile hidrojen atomunun 1 s orbitallerinin örtüşmesi*

Bağ yapımına katılmayan bu sp^3 hibrit orbitalindeki ortaklanmamış elektron çifti, ortaklanmış elektronlara göre daha fazla alan kapladığı için bağ yapımına katılan ortaklanmış elektronları daha fazla iter. Bu durumda 4 tane sp^3 hibrit orbitalinin üç boyutlu geometrisi, düzgün dört yüzlü yapıdan sapma gösterir. Oluşan molekülün geometrisi **üçgen piramit**tir ve bağ açısı **107°**dir (Görsel 2.26). Molekülün VSEPR gösterimi $\mathbf{AX_3E}$ şeklindedir.



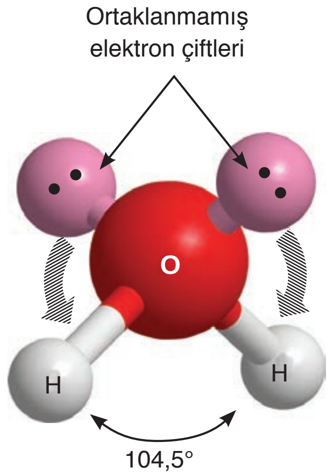
Görsel 2.26: NH_3 *molekülünde N atomunda ortaklanmamış elektronların bağ elektronlarını itmesi ve molekül geometrisi*

H_2O molekülünde, oksijen atomunda 1 tane s orbitali ile 3 tane p orbitali hibritleşmeye katılarak 4 tane sp^3 hibrit orbitalini oluşturmuştur (Görsel 2.27). Ancak sp^3 hibrit orbitallerinden ikisi tam doludur ve diğer 2 hibrit orbitalinde 2 tane yalnız elektron vardır. Bu nedenle bu iki sp^3 hibrit orbitali, 2 tane hidrojen atomunun 1 s orbitali ile örtüşerek iki tane tekli bağ oluşturur.



Görsel 2.27: H_2O *molekülünde O atomunun* sp^3 *hibrit orbitalleri ile hidrojen atomunun 1 s orbitallerinin örtüşmesi*

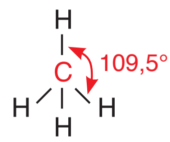
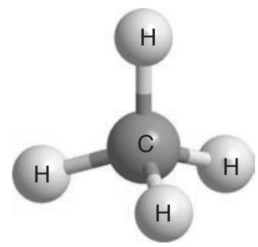
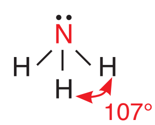
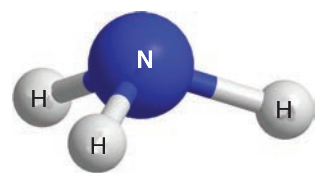
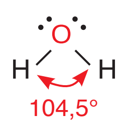
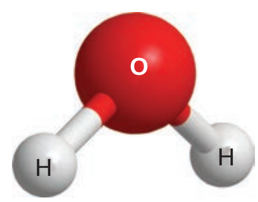
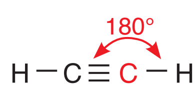
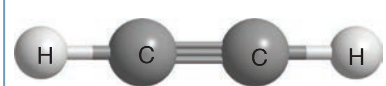
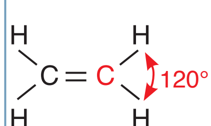
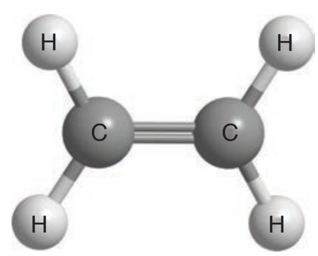
H_2O molekülünde bağ yapımına katılmayan iki elektron çiftinin bağ elektronlarını itmesi sonucunda molekül geometrisi **kırık doğrudur (açısal)**. Moleküldeki bağ açısı **104,5°** dir (Görsel 2.28). Molekülün VSEPR gösterimi $\mathbf{AX_2E_2}$ şeklindedir.



Görsel 2.28: H_2O *molekülünde O atomunda ortaklanmamış elektronların bağ elektronlarını itmesi ve molekül geometrisi*

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda Tablo 2.7'de bazı moleküllerin merkez atomlarının hibritleşme türü, molekül geometrisi, VSEPR gösterimi, bağ açıları ve top-çubuk molekül modelleri gösterilmiştir.

Tablo 2.7: *Bazı moleküllerin molekül geometrisi, VSEPR gösterimi, bağ açıları ve top-çubuk molekül modellerinin gösterimi*

Merkez Atomunun Hibritleşme Türü	Molekül Geometrisi	VSEPR* Gösterimi	Örnek Molekül	Lewis Formülü	Top-Çubuk Modeli
sp^3	Düzgün dört yüzlü	AX_4	CH_4		
sp^3	Üçgen piramit	AX_3E	NH_3		
sp^3	Açısal	AX_2E_2	H_2O		
sp	Doğrusal	AX_2	C_2H_2		
sp^2	Üçgen düzlemsel	AX_3	C_2H_4		

**VSEPR gösteriminde A merkez atomu, X merkez atoma bağlı atomu ve E ortaklanmamış elektron çiftlerini simgelemektedir.*

Alıştırma

Aşağıda verilen moleküllerin Lewis formülünü yazarak merkez atomunun hibritleşme türünü, molekülün molekül geometrisini ve VSEPR gösterimini yapınız ($_1H$, $_4Be$, $_5B$, $_6C$, $_8O$, $_9F$, $_{15}P$, $_{16}S$).

Molekül	Lewis Formülü	Merkez Atomunun Hibritleşme Türü	Molekül Geometrisi	VSEPR Gösterimi
CO_2				
BeH_2				
BF_3				
PF_3				
SO_2				
CH_2O				

Bilişim Teknolojileri

Hibritleşme ve VSEPR yaklaşımı konusunda bilişim teknolojilerinden yararlanarak (animasyon, simülasyon, video vb.) molekül modelleri yapınız.

Bunun için aşağıdaki e-içerikleri inceleyebilirsiniz.

goo.gl/vjWKYa Genel Ağ adresinden aşağıdaki konu başlıklarını inceleyebilirsiniz.

- **Hibritleşme / Molekül Geometrileri**

goo.gl/6WCZzJ Genel Ağ adresinde VSEPR yaklaşımına göre molekül modelleri oluşturabilirsiniz. Oluşturduğunuz molekül modellerinde bağ açılarını görebilir, bağ yapımına katılmamış elektron çiftlerinin molekül geometrisini nasıl etkilediğini inceleyebilirsiniz.

2. ÜNİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

A. Aşağıdaki ifadelerde noktalı yerleri uygun kelime ve kavramlar ile tamamlayınız.

organik kimya	yapı formülü	sp^3	Lewis	allotrop
düzgün dört yüzlü	ortaklanmış	pi bağı	hibritleşme	
2	sigma bağı	anorganik bileşik	3	

1. Canlı organizmalar tarafından sentezlenebilen karbon elementinin bileşiklerini inceleyen kimyanın alt dalına ………… ………… denir.

2. Bir elementin atomlarının uzayda farklı sayı ve dizilişte bir araya gelerek oluşturduğu maddeler ………… olarak tanımlanır.

3. Bir molekülde tüm atomlar arasındaki bağları açıkça gösteren formül ………… ………… olarak adlandırılır.

4. Bağ yapımına katılan elektronlar ………… elektronlardır.

5. Bir atomun değerlik elektronlarının atom sembolü etrafında noktalarla gösterilmesine ....

...……. formülü denir.

6. Hibritleşmeye katılmayan p orbitallerinin etkileşmesiyle oluşan bağa ………… ………… denir.

7. İki atom arasında orbitallerin doğrudan örtüşmesiyle oluşan ilk bağa ………… ………… denir.

8. Su molekülünde oksijen atomu ……….. hibritleşmesi yapar.

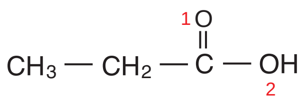
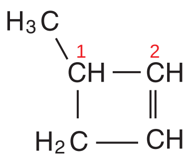
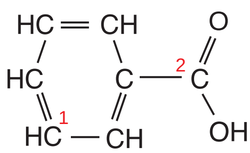
9. CH_4 molekülü ………… ………… geometriye sahiptir.

10. C_2H_2 molekülünde …… tane sigma bağı, …………… tane pi bağı vardır.

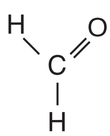
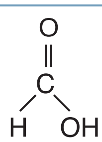
B. Aşağıdaki çalışmaları yapınız ve sizden istenenleri uygun şekilde tamamlayınız.

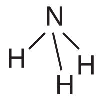
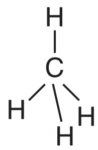
1. C_2H_4, C_2H_2, CH_3OH ve CH_3COOH moleküllerinin Lewis formüllerini yazınız (${}_1H$, ${}_6C$, ${}_8O$).

2. Aşağıda verilen moleküller ile ilgili tabloda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz.

		I	II	III
	Molekül	**Numaralı Atomların Hibritleşme Türü**	**Moleküldeki Toplam Sigma (σ) Bağ Sayısı**	**Moleküldeki Toplam Pi (π) Bağ Sayısı**
a)	$\underset{1}{CH_3}-CH_2-CH=\underset{2}{CH_2}$			
b)				
c)	$(CH_3)_3\underset{1}{C}H_2-C\equiv\underset{2}{C}H$			
ç)				
d)				

3. Aşağıda verilen moleküller ile ilgili tabloda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz (${}_1H$, ${}_6C$, ${}_7N$, ${}_8O$).

		I	II	III	IV
	Molekül	**Merkez Atomun Hibritleşme Türü**	**Bağ Açısı**	**Molekül Geometrisi**	**VSEPR Gösterimi**
a)					
b)					

		I	II	III	IV
	Molekül	**Merkez Atomun Hibritleşme Türü**	**Bağ Açısı**	**Molekül Geometrisi**	**VSEPR Gösterimi**
c)	H−C≡N				
ç)					
d)					

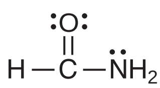
C. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları yanıtlayınız.

1. Aşağıdaki moleküllerden hangisi pi bağı <u>içermez</u> ($_1H$, $_6C$)?

A) CH_4 B) C_2H_2 C) C_2H_4

D) CH_3CHCH_2 E) $CHCCH_3$

2.



Yukarıdaki molekülde C, O ve N atomlarının hibritleşmeleri hangi seçenekte doğru verilmiştir ($_6C$, $_7N$, $_8O$)?

	C	O	N
A)	sp^2	sp^3	sp^2
B)	sp	sp	sp^2
C)	sp^3	sp	sp^3
D)	sp^2	sp^2	sp^3
E)	sp^3	sp	sp^2

3. NH_3 molekülü ile ilgili

I. Merkez atom sp^3 hibritleşmesi yapmıştır.

II. VSEPR gösterimi AX_3 şeklindedir.

III. Molekül geometrisi düzlem üçgendir.

yargılarından hangisi ya da hangileri doğrudur ($_1H$, $_7N$)?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) II ve III

4. CH_4 molekülü ile ilgili aşağıda verilenlerden hangisi yanlıştır? ($_1H$, $_6C$)

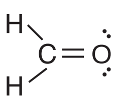
A) Molekül geometrisi düzgün dört yüzlüdür.

B) Bağ açısı 109,5°dir.

C) Merkez atom sp^3 hibritleşmesi yapmıştır.

D) Hibritleşmeye katılmayan değerlik elektronu, π bağını oluşturmuştur.

E) Karbon atomunun sp^3 hibrit orbitali ile hidrojen atomunun 1 s orbitali örtüşerek σ bağını oluşturmuştur.

5. 

molekülü ile ilgili aşağıda verilenlerden hangisi doğrudur ($_1H$, $_6C$, $_8O$)?

A) Merkez atom oksijendir.

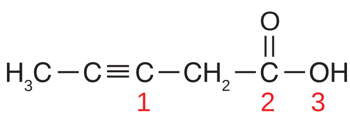
B) Karbon atomu sp^3 hibritleşmesi yapmıştır.

C) Merkez atom sp^2 hibritleşmesi yapmıştır.

D) Molekül geometrisi üçgen piramittir.

E) Bağlar arasındaki açı 107°dir.

6.



Verilen molekülde numaralandırılmış atomların yaptığı hibritleşmeler aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir?

	1	2	3
A)	sp	sp^2	sp^2
B)	sp	sp^2	sp^3
C)	sp^2	sp^3	sp^2
D)	sp^2	sp	sp
E)	sp^3	sp^2	sp^2

7. Aşağıda, bir organik bileşiğin yapı formülü verilmiştir.

$$CH_3 - (CH_2)_2 - C \equiv C - CH_3$$

Yukarıda yarı açık formülü verilen organik bileşikteki π ve σ bağ sayısı kaçtır?

A) $15\sigma, 2\pi$ B) $12\sigma, 2\pi$ C) $11\sigma, 3\pi$ D) $9\sigma, 2\pi$ E) $8\sigma, 3\pi$

8. I. BeH_2
II. CH_4
III. NH_3

Yukarıda verilen bileşiklerin molekül geometrileri hangi seçenekte doğru verilmiştir? ($_1H$, $_4Be$, $_6C$, $_7N$)?

	I	II	III
A)	Doğrusal	Düzgün dört yüzlü	Düzlem üçgen
B)	Açısal	Üçgen piramit	Düzgün dört yüzlü
C)	Doğrusal	Düzgün dört yüzlü	Üçgen piramit
D)	Açısal	Üçgen piramit	Düzlem üçgen
E)	Doğrusal	Düzlem üçgen	Üçgen piramit

9. Allotrop maddeler ile ilgili
I. Aynı element atomlarının uzayda farklı sayı ve dizilişte bir araya gelmesinden oluşur.
II. Fiziksel özellikleri farklıdır.
III. Elmas, grafit ve Fullerenler karbon elementinin allotropudur.
ifadelerinden hangisi ya da hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

10. CO_2 molekülünün Lewis yapısı aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiştir ($_6C$, $_8O$)?

A) O::C::O B) $\underset{\cdot\cdot}{\ddot{O}}$::C::$\underset{\cdot\cdot}{\ddot{O}}$ C) :O::C::$\underset{\cdot\cdot}{\ddot{O}}$ D) $\underset{\cdot\cdot}{\ddot{O}}$:C:$\underset{\cdot\cdot}{\ddot{O}}$ E) :O::C::O:

11. CH_2O molekülünün Lewis yapısı ile ilgili aşağıdakilerden hangisi yanlıştır?

A) 8 ortaklanmış elektron içerir.
B) 2 tane ortaklanmamış elektron içerir.
C) Karbon ve oksijen atomları arasında 2 elektron çifti ortaklaşa kullanılır.
D) Molekülde toplam 4 tane bağ vardır.
E) Karbon atomunun değerlik elektronlarının tümü ortaklanmıştır.

12. Aşağıda organik ve anorganik bileşiklerin özellikleri ile ilgili verilen ifadelerden hangisi doğrudur?

A) Organik bileşikler sadece doğal yollardan elde edilebilir, laboratuvarda üretilemez.
B) Anorganik bileşiklerin temelinde karbon elementi vardır.
C) Hidrokarbonlar sadece karbon elementi içerir.
D) Organik bileşikler suda iyi çözünür.
E) Organik bileşiklerin erime ve kaynama noktaları genelde düşüktür.

13. Aşağıda verilen ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) Grafit; yumuşak, kırılgan ve siyah renkli bir katıdır.

B) Elmasta karbon atomları arasında kovalent bağ vardır.

C) Grafit, iyi bir elektriksel iletkenliğe sahiptir.

D) Fullerenler, karbon elementinin doğal kaynaklardan elde edilen allotropudur.

E) Fullerenler, küre ve tüp şeklinde olabilir.

14. C_2H_2 molekülü ile ilgili;

I. Karbon atomları arasında hibritleşmeye katılmayan p orbitallerinin örtüşmesiyle 2 tane π bağı oluşmuştur.

II. Karbon atomlarının sp hibrit orbitalleri ile hidrojen atomlarının s orbitalleri örtüşerek σ bağı oluşmuştur.

III. Karbon atomlarının sp hibrit orbitallerinin örtüşmesiyle σ bağı oluşmuştur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

15. Kütlece %37,5 C, %12,5 H ve %50 O içeren bileşiğin basit formülü aşağıdakilerden hangisidir (C:12 g/mol, H:1 g/mol, O: 16 g/mol)**?**

A) C_2H_6O B) CH_3O C) CH_4O D) $C_3H_8O_3$ E) $C_3H_8O_2$

16. Bir hidrokarbonda hidrojenin kütlesinin bileşiğin kütlesine oranı 1/10'dur.

Buna göre bileşiğin basit formülü nedir (C: 12 g/mol, H: 1 g/mol)**?**

A) CH_4 B) CH_2 C) CH_3 D) C_3H_4 E) C_3H_6

17. 0,1 mol organik bileşik 0,3 mol oksijen ile yakıldığında NŞA'da 4,48 L CO_2 gazı ve 5,4 g H_2O oluşuyor.

Buna göre bu organik bileşiğin molekül formülü nedir (C: 12 g/mol, H: 1 g/mol, O: 16 g/mol)**?**

A) C_2H_6 B) C_2H_6O C) CH_3O D) $C_3H_8O_2$ E) C_3H_8

3\. ÜNİTE

ORGANİK BİLEŞİKLER

KONULAR



Çikolatanın yapımında kullanılan vanilya bitkisi



Rezene bitkisi, yapısında aromatik bileşikler içerir.

Bu ünitede alkanlar, alkenler, alkinler, fonksiyonel gruplar, alkoller, eterler, karbonil bileşikleri, karboksilik asitler, esterler, aromatik bileşikler ve yaygın benzen türevleri başta olmak üzere başlıca organik bileşikler ele alınacaktır. Bu bileşiklerin sistematik ve geleneksel adları formülleriyle eşleştirilecek, özellikleri ile kullanım alanları ilişkilendirilecektir.

ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI

1. Organik bileşik türleri nelerdir?
2. Organik bileşiklerin fonksiyonel grupları nelerdir?
3. Fonksiyonel gruplar organik bileşiklere ne tür özellikler kazandırır?

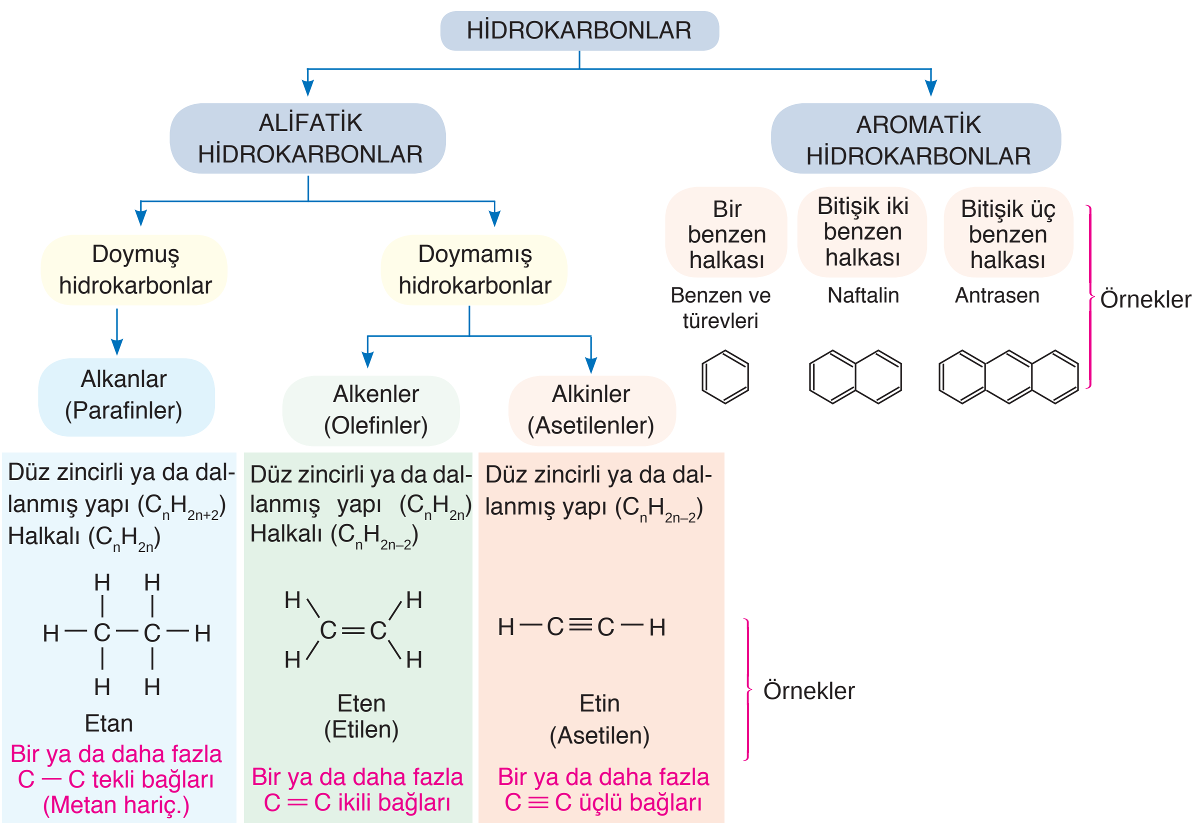
3.1. HİDROKARBONLAR

Organik bileşiklerin çoğu temelde karbon ve hidrojen elementinden oluşmaktadır. Sadece karbon ve hidrojen içeren organik bileşiklere **hidrokarbonlar** denir. Birçok organik bileşik, hidrokarbonlardan hidrojen atomu çıkarılarak elde edilen alkil, alkenil, alkinil ve fenil gibi yapılara farklı fonksiyonel grupların bağlanmasıyla türetilmektedir. Bu nedenle hidrokarbonların özelliklerinin bilinmesi diğer organik bileşiklerin özelliklerini anlamamızı kolaylaştıracaktır. Bu bölümde hidrokarbonların özellikleri ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

3.1.1. Hidrokarbon Türleri

Hidrokarbonlar temelde, alifatik ve aromatik olmak üzere iki grupta incelenir (Şema 3.1).

Şema 3.1: *Hidrokarbonların sınıflandırılması*



Alifatik hidrokarbonlar: Düz, dallanmış ya da halkalı yapıdaki hidrokarbonlardır. İki grupta incelenir: Yapısında pi bağı bulunmayan (karbon atomları arasında ikili ya da üçlü bağlar bulunmayan) hidrokarbonlar **doymuş hidrokarbonlar,** yapısında pi bağı bulunan (karbon atomları arasında ikili ya da üçlü bağlar bulunan) hidrokarbonlar **doymamış hidrokarbonlar** olarak adlandırılır. Doymamış hidrokarbonlara içerdikleri pi bağı sayısına göre hidrojen atomu eklenebilir (1 tane pi bağına 2 hidrojen atomu eklenebilir). Ancak doymuş hidrokarbonlara hidrojen eklemek mümkün değildir. Doymuş hidrokarbonlar içerebilecekleri en fazla sayıda hidrojen atomuna sahiptir. Alkanlar ve halkalı yapıdaki alkanlar (sikloalkanlar) doymuş hidrokarbonlara; alkenler, halkalı yapıdaki alkenler (sikloalkenler), alkinler doymamış hidrokarbonlara örnektir.

Aromatik hidrokarbonlar: Bunlar, benzen halkası içeren ve düzlemsel yapıda olan hidrokarbonlardır. Aromatik hidrokarbonlar, tek benzen halkası ve türevleri ya da birden çok benzen halkası ve türevleri (naftalin, antrasen) olarak incelenir.

3.1.2. Alkanlar

Alkanlar, yapısındaki her bir karbon atomunun 4 bağ yaptığı doymuş hidrokarbonlardır. Sadece C–C ve C–H tekli bağları içerdikleri için ve her bir karbon atomu mümkün olan en fazla sayıda hidrojen atomuna bağlı olduğu için **doymuş hidrokarbonlar** diye adlandırılır. Alkanlar, C_nH_{2n+2} genel formülüne sahiptir. "n" bir tam sayıdır ve karbon sayısını göstermektedir. Karbon atomları arasındaki tüm bağlar, sigma bağlarıdır ve tüm karbon atomları sp^3 hibritleşmesi yapar. Karbon atomlarının etrafındaki atomlar, düzgün dört yüzlü geometriyi oluşturacak şekilde düzenlenir. Karbon atomlarının yaptığı bağlar arasındaki açı, yaklaşık 109,5°dir. Alkanlar aynı zamanda alifatik hidrokarbonlardır.



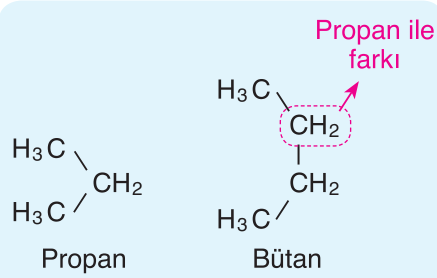
Bir elmanın daha parlak görünmesini sağlayan, kabuğundaki alkan molekülleridir.

Alkanların ilk dört üyesi metan (CH_4), etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) ve bütandır (C_4H_{10}). Alkanlar, beşinci üyeden itibaren karbon sayısına karşılık gelen Latince sayıların sonuna **-an** son eki getirilerek adlandırılır. Örneğin beş karbonlu alkanın adı pentan (C_5H_{12}), altı karbonlunun ise hekzandır (C_6H_{14}).

Tablo 3.1: *Bazı alkanların içerdiği karbon sayısı, adı ve formülü*

Karbon Atomu Sayısı	Adı	Formülü	Karbon Atomu Sayısı	Adı	Formülü
1	Metan	CH_4	6	Hekzan	C_6H_{14}
2	Etan	C_2H_6	7	Heptan	C_7H_{16}
3	Propan	C_3H_8	8	Oktan	C_8H_{18}
4	Bütan	C_4H_{10}	9	Nonan	C_9H_{20}
5	Pentan	C_5H_{12}	10	Dekan	$C_{10}H_{22}$

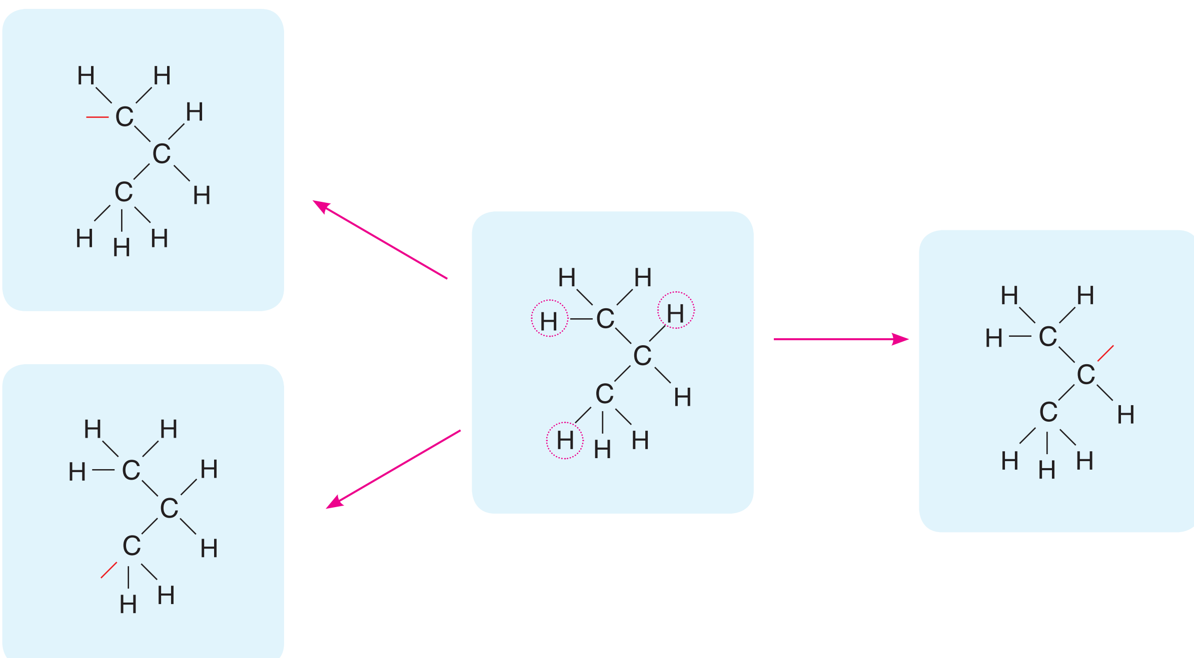
Tablo 3.1 incelendiğinde alkan moleküllerinin, kendisinden bir önce ve bir sonraki alkan molekülüne göre metilen ($-CH_2-$) birimi kadar farklılık gösterdiği görülmektedir. Yani ardışık sayıda karbon atomu içeren alkanlar arasında $-CH_2-$ birimi kadar fark vardır. Alkanların bu şekilde oluşturduğu seriye **homolog seri (homolog sıra)** denir. Örneğin C_3H_8 ile C_4H_{10} molekülleri arasında $-CH_2-$ birimi kadar fark vardır. Homolog seri oluşturan bu tür moleküllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri genellikle birbirine benzerdir.



Alkil Grupları

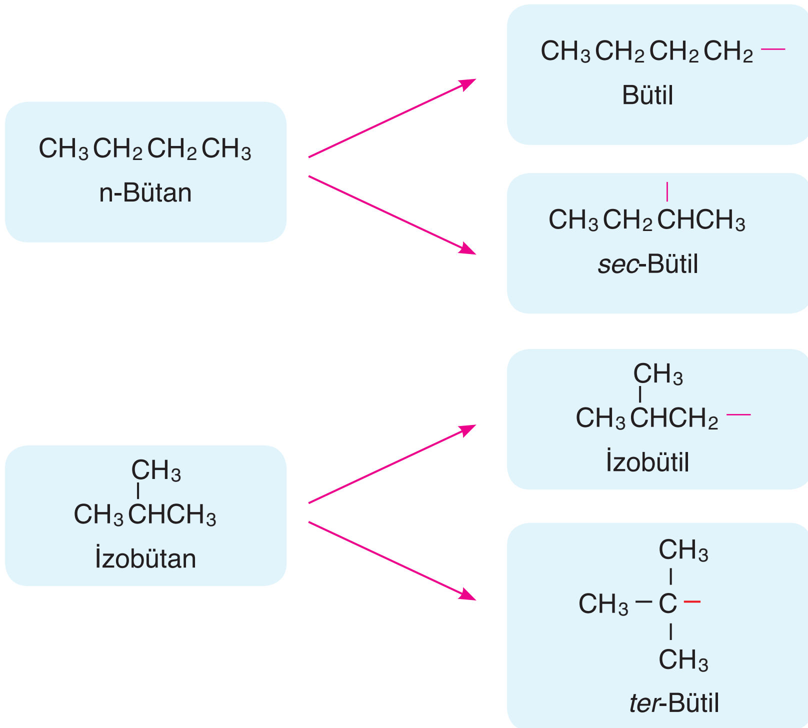
Alkanlarda karbon atomlarının sayısı ne kadar çok olursa karbon atomlarının birbirlerine farklı konumlarda bağlanabilme (düz ya da dallanmış yapı oluşturma) durumları o kadar fazladır. Bu durum, alkanların dallanmış ya da düz zincirli yapılar oluşturabilmelerine imkân verir.

Alkil (R) grupları alkanlardan 1 hidrojen atomu çıkarılmasıyla oluşturulmaktadır. Alkil gruplarının genel formülleri C_nH_{2n+1}'dir. Alkanlardaki dallanmış ve düz zincirli yapılar aynı sayıda karbon ve hidrojen atomu içeren farklı alkil (R) gruplarının oluşturulabilmesine imkân verir. Hidrojen atomunun hangi karbon atomundan koparılacağı önemlidir. Metan (CH_4) molekülünde tek karbon atomu vardır. Elde edilen alkil, metildir $(-CH_3)$ ve başka bir alkil elde edilmesi mümkün değildir. Etan (C_2H_6) molekülünden elde edilen alkil, etildir $(-C_2H_5)$ ve 2 tane karbon atomu olmasından dolayı farklı bir alkil grubu elde edilmesi mümkün değildir. Ancak 3 karbonlu olan propan (C_3H_8) molekülünden 2 farklı alkil grubu oluşturmak mümkündür. Propan molekülünde karbon zincirinin ucundaki karbonların birinden 1 hidrojen atomu koparılmasıyla **propil**, karbon zincirinin ortasındaki karbon atomundan 1 hidrojen atomu koparılmasıyla **izopropil** elde edilir.

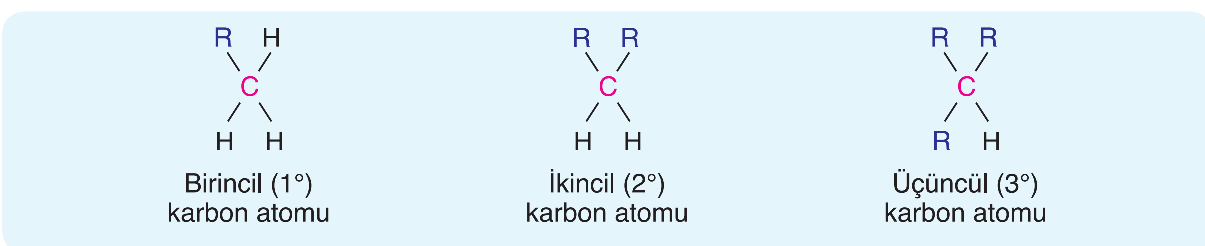


$CH_3CH_2CH_2-$ Propil | $CH_3CH_2CH_3$ Propan | CH_3CHCH_3 İzopropil

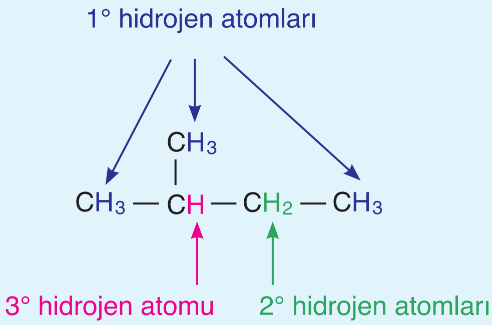
Alkandaki karbon sayısı arttıkça karbon atomlarının farklı konumda bağlanma olasılığı artar. Bu durum, elde edilebilecek farklı alkil grubu sayısını da artırır. Örneğin 4 karbonlu bütan molekülü iki farklı karbon zincirine sahip olabilir (n-bütan ve izobütan). Bu iki farklı karbon zincirine sahip molekülden dört farklı alkil grubu türetilebilir.



Yukarıda, bütan molekülünden türetilmiş dört farklı alkil grubu olduğu görülmektedir. Bu alkil gruplarının adlandırılmasında hidrojen atomunun koparıldığı karbon atomuna göre de adlandırma yapılabilmektedir. Örneğin ***sec*-bütil**, n-bütan molekülündeki 2 tane karbon atomuna bağlı sekonder karbon atomundan hidrojen atomu koparılmasıyla oluşan bütilin önüne ek olarak İngilizce seconder (sekonder) kelimesinin kısaltması (*sec*-) getirilmiştir. Ter-bütil, izobütan molekülündeki 3 tane karbon atomuna bağlı tersiyer karbon atomundan hidrojen atomu koparılmasıyla oluşur. Tersiyer kelimesinin kısaltması (*ter*-) bütil kelimesine ön ek olarak getirilmiştir. Karbon atomu, bir tane karbon atomuna bağlı ise **primer (1°, birincil),** iki tane karbon atomuna bağlı ise **sekonder (2°, ikincil),** üç tane karbon atomuna bağlı ise **tersiyer (3°, üçüncül) karbon atomu** olarak adlandırılır.

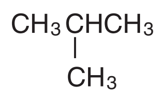


Karbon atomlarının bu sınıflandırılması hidrojen atomları için de kullanılabilmektedir. Hidrojen atomu; primer karbon atomuna bağlı ise **birincil (1°) hidrojen**, sekonder karbon atomuna bağlı ise **ikincil (2°) hidrojen,** tersiyer karbon atomuna bağlı ise **üçüncül (3°) hidrojen atomu** olarak sınıflandırılabilir. 2-metilbütan molekülünde birincil, ikincil ve üçüncül hidrojen atomları vardır.



Örnek

Yanda verilen molekülde karbon ve hidrojen atomlarını birincil, ikincil ve üçüncül olarak sınıflandıralım.

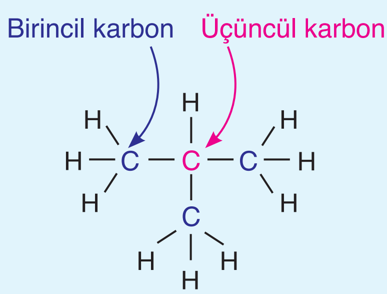


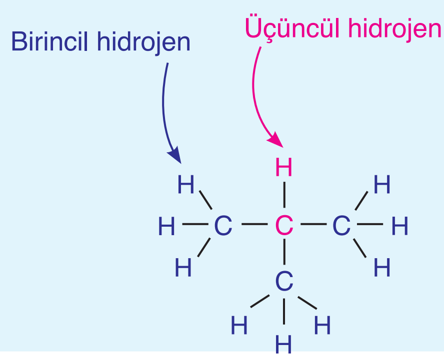
Strateji

Hidrojen atomlarının sınıflandırılabilmesi için önce karbon atomları sınıflandırılmalıdır.

Çözüm

Mavi renk ile gösterilen karbon atomları birincil, kırmızı renk ile gösterilen karbon atomu ise üçüncül karbon atomudur. Bu molekülde 3 tane birincil karbon atomu ve bu karbon atomlarına bağlı 9 tane birincil hidrojen atomu vardır. Ayrıca 1 tane üçüncül karbon atomuna bağlı, 1 tane üçüncül hidrojen atomu bulunmaktadır.





Alıştırma

Dallanmamış düz zincirli C_5H_{12} molekülünden kaç tane farklı alkil grubu türetilebilir?

Dallanmamış düz zincirli C_5H_{12} molekülünde birincil, ikincil ve üçüncül karbon atomlarını ve hidrojen atomlarını molekülün açık formülünü yazarak gösteriniz.

Alkanların Adlandırılması

Yeni organik bileşiklerin sentezlenmesiyle ya da keşfedilmesiyle organik bileşiklerin sayısındaki hızlı artış, adlandırmada sistematik bir yaklaşım ihtiyacını beraberinde getirmiştir. İlk zamanlar yaygın olarak kullanılan organik bileşikler, çoğunlukla bileşiğin kaynağına göre adlandırılmıştır. Bu adlandırma "yaygın" adlandırma olarak bilinir ve günümüzde çok kullanılan organik bileşiklerin adlandırılmasında zaman zaman bu yaygın adlar kullanılabilmektedir.

Yaygın adların kullanımı 19. yüzyılın sonuna kadar sürmüş ve yerini yavaş yavaş sistematik bir adlandırma yöntemine bırakmıştır. Daha önce kısaca değinilen Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC), organik bileşiklerin herkes tarafından rahatça adlandırabilmesine imkân veren bir adlandırma sistemi geliştirerek adlandırma ile ilgili karmaşaya son vermiştir. IUPAC, ilk olarak 1892'de geliştirilen ve zaman zaman güncellenen adlandırma kurallarını belirlemiştir. Bundan sonraki bölümlerde çoğunlukla IUPAC sistematik adlandırma kurallarına göre adlandırma yapılacak, gerektiğinde bazı bileşiklerin yaygın adları da kullanılacaktır.

Günümüzde kullanılan resmî adlandırma sistemi, IUPAC tarafından ilk defa 1892'de geliştirilmiş ve belirli dönemlerde gözden geçirilmiştir. Bu sistemin temel yaklaşımı "her farklı bileşiğin farklı bir adının olması" dır. Böylece bilinen yaklaşık yedi milyar organik bileşik için farklı isimler kullanabilmek mümkündür.

Kaynak: *SOLOMONS, T.W. Graham, FRYHLE, Craig B, Organic Chemistry, 10th ed., John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 2011.*

IUPAC adlandırma yönteminde organik bileşiğin adı temelde dört bölümden oluşmaktadır. Bu bölümleri aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

Ön ek	→	**Ana zincir**	→	**Konum**	→	**Son ek**
Bağlı gruplar ve bunların hangi karbon atomuna bağlı olduğu		En uzun karbon zincirindeki karbon sayısı		Temel fonksiyonel grubun hangi karbona bağlı olduğu		Temel fonksiyonel grubun ait olduğu organik bileşik ailesi

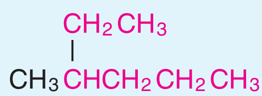
Bu bölümleri dikkate alarak alkanların IUPAC'a göre adlandırma kurallarını örneklerle açıklayalım. Alkanların IUPAC adlandırılmasında şu adımlar izlenir:

1. adım: En uzun karbon zincirinin (ana zincir) belirlenmesi

Strateji

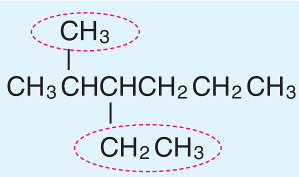
En uzun karbon zinciri, ardışık karbon atomlarını elinizi hiç kaldırmadan bir kalemle çizerek birleştirdiğinizde elde ettiğiniz karbon zinciridir.

a) Moleküldeki en uzun karbon zinciri belirlenir. En uzun karbon zinciri, düz bir zincir olmak zorunda değildir. Örneğin aşağıdaki molekülde ana zincir kırmızı renkle belirtilmiştir.



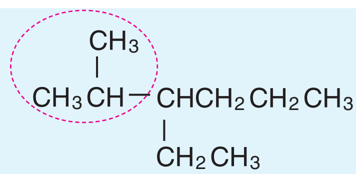
Bu molekülde ana zincir, 1 tane metil grubunun bağlı olduğu 6 karbonlu **hekzan**dır.

b) Birbirine eşit uzunlukta iki karbon zinciri varsa daha fazla sayıda bağlı grup içeren karbon zinciri, ana zincir olarak belirlenir.



2 tane grup bağlı **hekzan**

Ana zincirdir.



1 tane grup bağlı **hekzan**

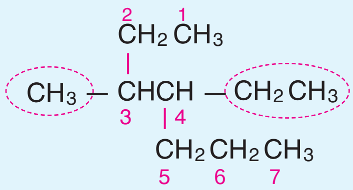
Ana zincir değildir.

2. adım: Ana zincirdeki karbon atomlarının numaralandırılması

Strateji

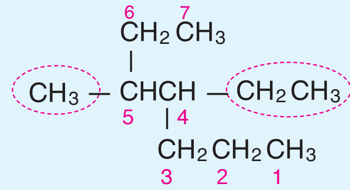
Adlandırmada ana zincir belirlenirken grupların bağlı olduğu karbon atomlarının numaraları toplamı en küçük zincir, ana zincir olarak seçilir.

a) Ana zincire bağlı gruplara en küçük sayı gelecek şekilde ana zincirdeki karbon atomları numaralandırılır.



3 numaralı karbona **metil,**
4 numaralı karbona **etil** bağlı.

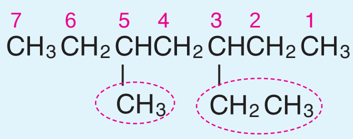
Doğru numaralandırma



4 numaralı karbona **etil,**
5 numaralı karbona **metil** bağlı.

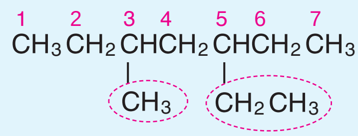
Yanlış numaralandırma

b) Ana zincire bağlı gruplara aynı sayılar gelirse alfabetik sıralamada önceliği olan gruba küçük sayı gelecek şekilde ana zincir numaralandırılır. Aşağıdaki örnekte her iki numaralandırmada da bağlı gruplar (metil ve etil) 3 ve 5 numaralı karbonlardadır. Burada tercih, alfabetik sıralamada önce gelen gruba küçük sayı gelecek şekilde olmalıdır. Etil, alfabetik sıralamaya göre metilden önce geldiği için etile küçük sayı (3 numaralı karbon) gelecek şekilde numaralandırılır.



3 numaralı karbonda **etil,**
5 numaralı karbonda **metil** bağlı.

Doğru numaralandırma

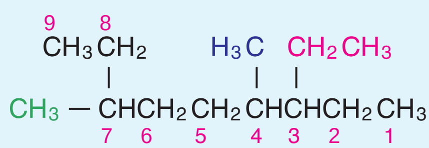


3 numaralı karbonda **metil,**
5 numaralı karbonda **etil** bağlı.

Yanlış numaralandırma

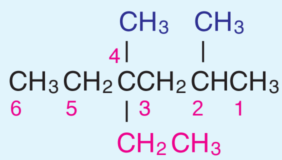
3. adım: Ana zincire bağlı grupların yerlerinin belirtilmesi ve adlandırılması

a) Ana zincire bağlı grupların yerleri zincirde bağlı oldukları karbon atomunun numarasıyla belirtilir. Numaralar, kelimeler ile aralarına çizgi " –" konularak ayrılır.



3 numaralı karbonda	CH_2CH_3	3–etil
4 numaralı karbonda	CH_3	4–metil
7 numaralı karbonda	CH_3	7–metil

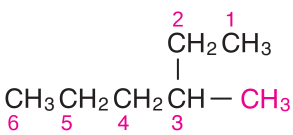
b) Ana zincire birden fazla aynı grup bağlı ise grupların sayısı gibi ön eklerle belirtilir. Ana zincire bağlı gruplar söylenirken her zaman alfabetik sıraya dikkat edilir (Örneğin **etil, metil**den önce söylenir.). Alfabetik sıralama yapılırken **di, tri, tetra** gibi ön ekler dikkate alınmaz. Ana zincirdeki karbon sayısına karşılık gelen alkanın adı söylenerek adlandırma tamamlanır.



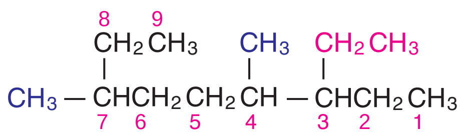
2 numaralı karbonda	CH_3	2–metil
4 numaralı karbonda	CH_3	4–metil
4 numaralı karbonda	CH_2CH_3	4–etil

4-Etil-2,4-dimetilhekzan

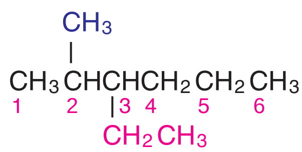
Aşağıda verilen moleküllerin IUPAC adlarını inceleyiniz.



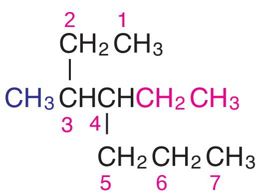
3-Metilhekzan



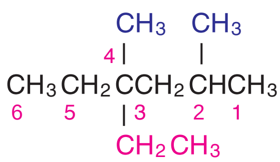
3-Etil-4,7-dimetilnonan



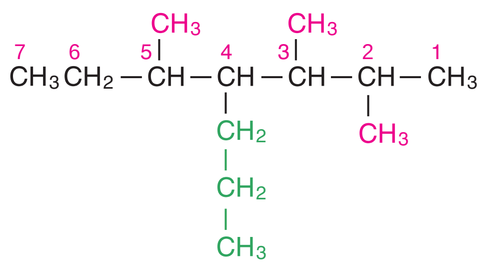
3-Etil-2-metilhekzan



4-Etil-3-metilheptan



4-Etil-2,4-dimetilhekzan

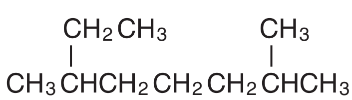


2,3,5-Trimetil-4-propilheptan

Bileşiklerin açık formülleri, çizgi bağ gösterimi ile de yazılabilir. Çizgi bağ gösteriminde sadece karbon atomları arasındaki bağlar zikzak şeklinde yazılır.

Örnek

Aşağıda verilen molekülün IUPAC adını yazarak çizgi bağ gösterimini yapalım.

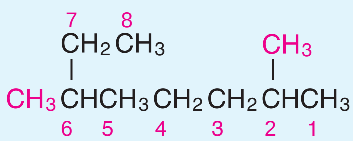


Strateji

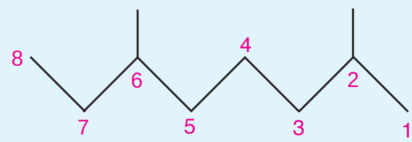
Öncelikle ana zincir belirlenmelidir. Sonrasında ana zincire bağlı gruplara en küçük sayı gelecek şekilde ana zincir numaralandırılmalıdır. Bağlı grupların yerleri ve adları belirtilerek ana zincirin adı söylenmeli ve adlandırma tamamlanmalıdır.

Çözüm

Ana zincir 8 karbonlu oktandır. Bağlı gruplar 2 tane metil grubudur. Ana zincir numaralandırılırken iki olasılık vardır. Metil gruplarına 2 ve 6 ya da 3 ve 7 numaralı karbonlar karşılık gelmektedir. Bağlı gruplara en küçük sayı gelecek şekilde (metil gruplarına 2 ve 6 numaralı karbon) numaralandırma yapılır. Önce alfabetik sıraya göre bağlı grupların yeri ve adı yazılır, sonra da ana zincir adlandırılarak adlandırma tamamlanır.



2,6-Dimetiloktan

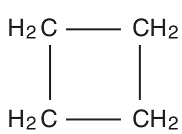
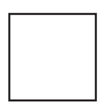
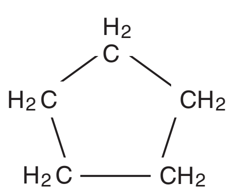
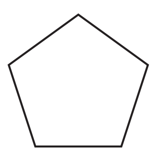
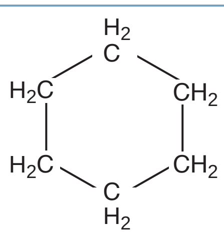
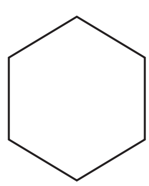


2,6-Dimetiloktan

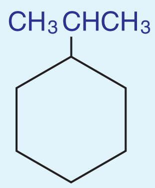
Çizgi bağ gösterimi

Halkalı yapıdaki alkanların (sikloalkanlar) adlandırılmasında halkadaki karbon sayısına karşılık gelen alkanın önüne **siklo** ön eki getirilir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: *Dört ve beş karbonlu halkalı yapıdaki alkanların açık formülleri, çizgi bağ gösterimleri ve adları*

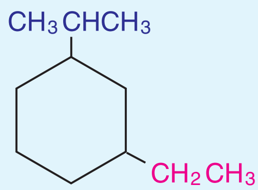
Açık Formül	Çizgi Bağ Gösterimi	Adlandırılması
		Siklobütan
		Siklopentan
		Siklohekzan

Halkalı yapılarda adlandırma yaparken halkalı yapıya tek bir grup bağlı olduğunda bu grubun yerini belirtmeye gerek yoktur (a). İki farklı grup bağlı olduğunda ise alfabetik sıraya göre önce gelen gruptan başlanarak numaralandırma yapılır (b). Üç ve daha fazla grup bağlı ise toplamda gruplara en küçük sayı gelecek şekilde numara verilir (c).



İzopropilsiklohekzan

(a)

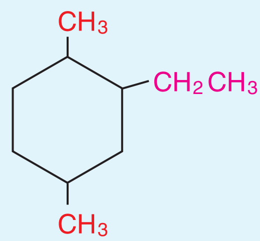


1-Etil-3-izopropilsiklohekzan

1-İzopropil-3-etilsiklohekzan (değil)

1-Etil-5-izopropilsiklohekzan (değil)

(b)



2-Etil-1,4-dimetilsiklohekzan

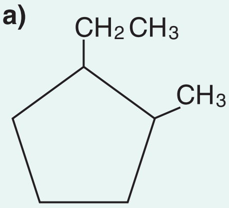
3-Etil-1,4-dimetilsiklohekzan (değil)

(c)

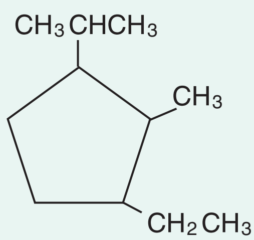
Alıştırma

Aşağıda verilen moleküllerin IUPAC adlandırmasını yapınız.

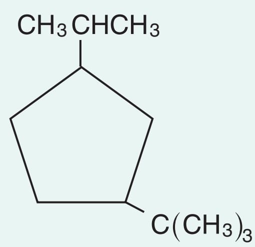
a)



b)



c)



Alkanların Fiziksel Özellikleri

Alkanlar, oda koşullarında katı, sıvı ve gaz olmak üzere farklı fiziksel hâllerde bulunabilmektedir. Oda sıcaklığında ve 1 atm basınçta, düz zincirli alkanların ilk dört üyesi (karbon sayısı 5'e kadar olan alkanlar) **gaz,** karbon sayısı 5'ten 18'e kadar olanlar (pentandan oktadekana kadar) **sıvı,** 18 ve daha fazla karbon içeren alkanlar ise **katı** hâldedir.

Alkanların fiziksel özelliklerini belirleyen temel özellik, yapılarının **apolar** olmasıdır. Bu nedenle apolar moleküllere sahip alkan molekülleri arasında zayıf etkileşimler (London kuvvetleri) görülür. Düz zincirli alkanların molekül kütlesi arttıkça molekülleri arasındaki çekim kuvveti (London kuvvetleri) artar. Bu nedenle molekül kütlesi arttıkça düz zincirli alkanların kaynama noktasında düzenli bir artış görülür. Ancak erime noktasında, kaynama noktasındaki gibi düzenli bir artış söz konusu değildir. Örneğin propan (erime noktası, –190 °C), molekül kütlesi daha büyük olmasına rağmen etandan (en, –183 °C) ve metandan (en, –182 °C) daha düşük sıcaklıkta erimektedir. Bütan (en, –138 °C), propandan (en, –190 °C) 52 °C daha yüksek, pentandan (en, –130 °C) ise sadece 8 °C daha düşük sıcaklıkta erimektedir.

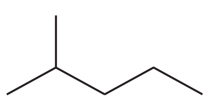
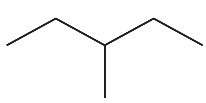
Düz zincirli bazı alkanların erime noktalarını, kaynama noktalarını ve yoğunluklarını Tablo 3.3'te inceleyiniz.

Tablo 3.3: *Düz zincirli bazı alkanların erime noktası, kaynama noktası ve yoğunluğu*

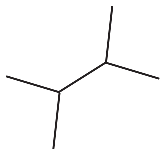
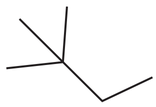
Adı	Formülü	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/mL) (20 °C, 1 atm'de)
Metan	CH_4	–182	–164	0,000717 (gaz)
Etan	CH_3CH_3	–183	–88	0,001356 (gaz)
Propan	$CH_3CH_2CH_3$	–190	–42	0,00201 (gaz)
Bütan	$CH_3(CH_2)_2CH_3$	–138	–0,5	0,00252 (gaz)
Pentan	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	–130	36	0,626
Hekzan	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	–95	69	0,659
Heptan	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	–90	98	0,684
Oktan	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	–57	126	0,703
Nonan	$CH_3(CH_2)_7CH_3$	–51	151	0,718
Dekan	$CH_3(CH_2)_8CH_3$	–30	174	0,730

Aynı karbon sayılı alkanlarda dallanmaların olması, moleküllerin birbirine yaklaşmasını güçleştirir. Bu durum, moleküller arasındaki etkileşimi (London kuvvetleri) zayıflatır. Böylece aynı karbon sayısına sahip dallanmış yapıdaki moleküller, düz zincirli moleküllere göre daha düşük sıcaklıklarda kaynar. Örneğin C_6H_{14} bileşiğinin bir izomeri olan düz zincirli n-hekzan molekülü 68,7 °C'ta kaynarken 2-metilpentan (kn, 60,3 °C) ve 3-metilpentan (kn, 63,3 °C) daha düşük sıcaklıklarda kaynar. Tablo 3.4'te C_6H_{14} bileşiğine ait izomerlerin düz zincirli ya da dallanmış yapılarını da dikkate alarak erime ve kaynama noktalarını inceleyiniz.

Tablo 3.4: C_6H_{14} *bileşiğine ait izomerlerin erime ve kaynama noktası*

Molekülün Adı	Çizgi Bağ Gösterimi	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)
n-Hekzan		-95	68,7
2-Metilpentan		-154	60,3
3-Metilpentan		-118	63,3

Tablo 3.4'ün devamı.

Molekülün Adı	Çizgi Bağ Gösterimi	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)
2,3-Dimetilbütan		-129	58
2,2-Dimetilbütan		-98	49,7

Alkanlar, organik bileşikler içinde yoğunluğu en düşük bileşiklerdir. Alkan molekülleri büyüdükçe moleküllerin yoğunlukları da artmaktadır (Tablo 3.3). Alkan moleküllerinin yoğunlukları 4 °C'taki suyun yoğunluğu (1 g/mL) ile karşılaştırıldığında alkan moleküllerinin yoğunluğunun daha düşük olduğu görülür. Alkanlarca zengin bir hidrokarbon karışımı olan petrol, bu nedenle suyun yüzeyinde toplanır.

Alkanlar apolar moleküller olduğu için polar bir molekül olan suda çözünmez. Sıvı alkanlar, birbiri içerisinde ve düşük polarlıktaki bazı çözücülerde; benzen, karbon tetraklorür, kloroform gibi çözücülerde çözünür. Alkanlar bu özellikleri sayesinde, bitkilerin yapraklarında ve meyvelerin kabuklarında koruyucu bir tabaka oluşturarak bitkilerin su kaybetmesini önler.

Alıştırma

Aşağıdaki molekülleri, kaynama noktalarını karşılaştırarak büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

a)

I	II	III
$CH_3CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2CH_3$

b)

I	II	III
$CH_3C(CH_3)_2CH_3$ (merkez C'ye üstte ve altta birer CH_3 bağlı: CH_3CCH_3)	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	$CH_3CH(CH_3)CH_2CH_3$ (ikinci C'ye üstte CH_3 bağlı: $CH_3CHCH_2CH_3$)

Alkanların Kimyasal Özellikleri

Alkanlar, kimyasal tepkimelere girme eğilimi az olan maddelerdir. Karbon-karbon ve karbon-hidrojen bağları, oldukça kuvvetli bağlardır ve çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmadığı sürece bu bağların kırılması zordur. Karbon atomlarının ve hidrojen atomlarının elektronegatiflikleri birbirine yakın olduğu için C – H bağı sağlamdır. Bu nedenle C – H bağının kırılarak H^+ iyonlarının oluşması zor olduğundan alkanlar, genellikle bazlarla tepkime vermez. Ortaklanmamış elektron içermedikleri için asitlerle de tepkimeye girmez.

Tepkimeye girme isteklerinin az olmasından dolayı alkanlara **parafinler** denir (Latincede "az etkinlik" anlamına gelen "parum affinis" kelimesinden türemiştir.). Ancak uygun koşulların sağlanmasıyla alkanlar belirli bazı kimyasal tepkimelere girmektedir. Örneğin büyük miktarda alkan içeren benzin, oksijen ile yanma tepkimesi verir. Ayrıca alkanlar ısıtıldığında klor ve brom ile tepkimeye girer. Flor ile bir patlama oluşturarak tepkime verir.

Alkanların Yanma Tepkimeleri

Alkanlar, oksijen gazı ile yükseltgenme tepkimesi vererek karbon dioksit ve su oluşturur. Alkanların oksijen gazı ile yükseltgenmesine **yanma tepkimesi** denir. Doymuş hidrokarbon olan alkanlar yanma tepkimelerinde, ısı [doğal gaz, LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), fuel-oil] ya da güç (benzin, mazot, uçak yakıtı) üretmek için akaryakıt olarak kullanılır. Doğal gazın önemli bir bileşeni olan metan gazı ve LPG'nin önemli bir bileşeni olan propan gazı yandığında büyük miktarlarda ısı açığa çıkar.

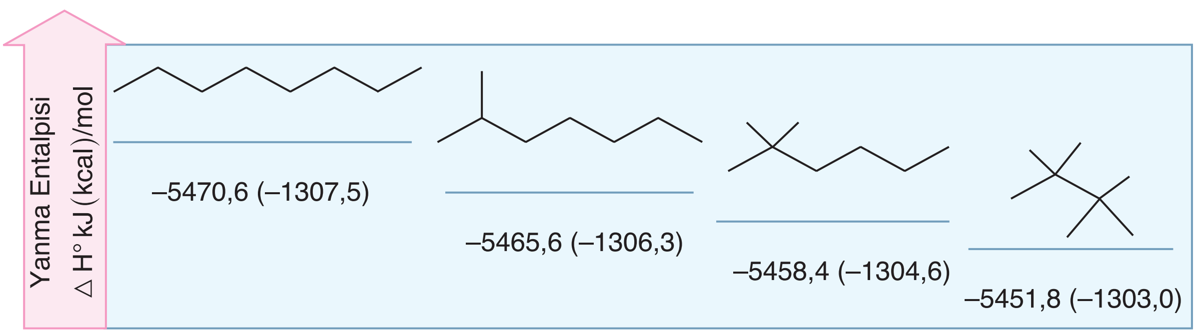
$$\underbrace{CH_4}_{\text{Metan gazı}} + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad \Delta H° = -890,4\ kJ$$

$$\underbrace{CH_3CH_2CH_3}_{\text{Propan gazı}} + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O \qquad \Delta H° = -2220\ kJ$$

Kapalı formülleri aynı alkanların yanma tepkimelerinde aynı ürünler elde edilmesine rağmen açığa çıkan enerji miktarları farklı olabilmektedir. Bu duruma örnek olarak C_8H_{18} bileşiğinin yanmasına ait tepkime denklemi aşağıdaki gibidir.

$$C_8H_{18} + \frac{25}{2}O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O$$

C_8H_{18} bileşiğinin 4 farklı zincir yapısındaki moleküllerinin her birinin yanması sonucunda elde edilen ısı miktarının farklı olduğu görülmektedir (Görsel 3.1).



Görsel 3.1: *C_8H_{18} bileşiğine ait dört farklı yapıdaki moleküllerin molar yanma entalpileri*

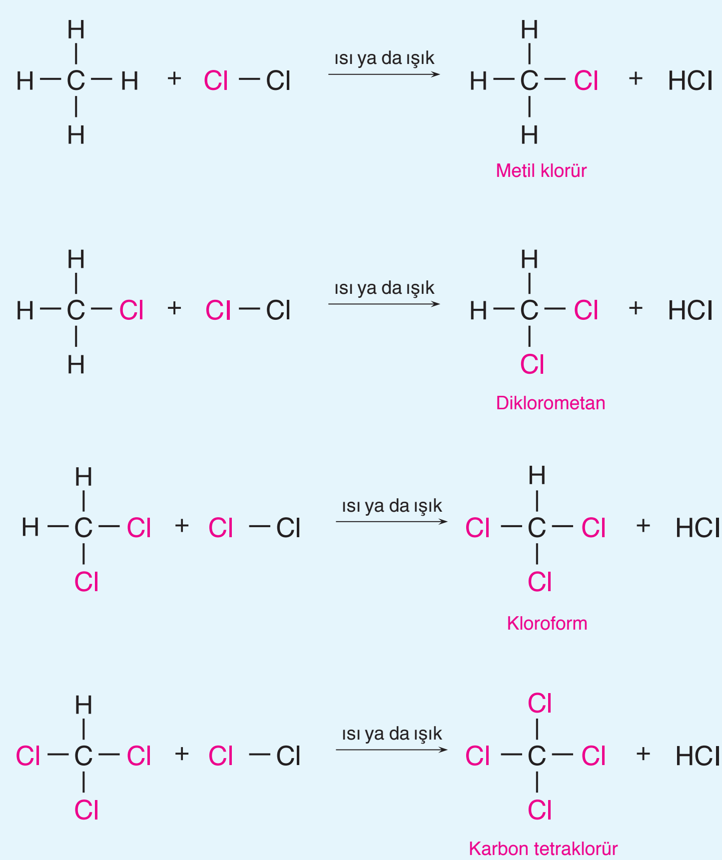
Oktan molekülünde dallanma arttıkça açığa çıkan ısı miktarının daha az olduğu görülmektedir. Dallanmış yapıdaki bir alkan, düz zincirli yapıdakine göre daha kararlıdır.

Alkanların Halojenlerle Yer Değiştirme Tepkimeleri

Halojen atomları uygun koşullarda alkanlarda bulunan hidrojen atomları ile yer değiştirebilir. Bu yer değiştirme tepkimesi sonucunda **alkil halojenürler** elde edilir.

$$\underbrace{R-H}_{\text{Alkan}} + \underbrace{X-X}_{\text{Halojen}} \xrightarrow{\text{ısı ya da ışık}} \underbrace{R-X}_{\text{Alkil halojenür}} + HX$$

Metan ve klor gazından oluşan bir karışım 100 °C'tan yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılırsa ya da ultraviyole kullanılırsa klor atomlarından klor radikalleri oluşur. Klor radikalleri metan gazındaki hidrojen atomları ile yer değiştirir. Bu tepkime tek basamaklı bir tepkime değildir. Zincirleme gelişen bir dizi tepkimeden oluşur. Yeterince klor gazı kullanılırsa klor atomları metan moleküllerindeki tüm hidrojen atomları ile yer değiştirebilir.



Metan gazı ile klor gazı arasında gerçekleşen bu yer değiştirme tepkimesindeki olayları yakından inceleyelim. Bu olay, 3 temel adımda gerçekleşir:

1. Başlangıç tepkimesi

2. Zincir tepkimeleri

3. Tepkimelerin durması

1. Başlangıç tepkimesi: Tepkimenin başlayabilmesi için öncelikle ortamda bulunan klor moleküllerinde, klor atomları arasındaki bağların kırılarak klor radikallerinin oluşması gerekir. Bunun için gerekli enerji, ultraviyole ışınlardan ya da yüksek ısıdan sağlanır.

$$Cl_2 + \text{ısı ya da ışık} \rightarrow \underbrace{\bullet Cl + \bullet Cl}_{\text{Klor radikalleri (kararsız, çok aktif)}}$$

Klor atomları arasındaki bağın bağ enerjisi, 242,7 kJ/mol'dür. CH_4 molekülünde karbon-hidrojen bağının enerjisi ise 414 kJ/mol'dür.

2. Zincir tepkimeleri: Oluşan klor radikalleri ortaklanmamış elektron içerdiği için oldukça kararsızdır ve kararlı hâle geçmek için ortamdaki CH_4 molekülleri ile hemen kimyasal tepkimeye girer.

$$CH_4 + Cl\bullet \longrightarrow \bullet CH_3 + HCl$$

Bu tepkime sonucunda HCl ve metil radikalleri $(\bullet CH_3)$ oluşur. Metil radikalleri, kimyasal aktifliği yüksek bir türdür. Klor molekülleri ile etkileşime girerek metil klorür ve klor radikali oluşturur.

$$\bullet CH_3 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + Cl\bullet$$

Radikal türlerin bu şekilde, ortamdaki moleküllerle etkileşerek yeni moleküller oluşturması art arda gerçekleşen zincirleme tepkimelerdir. Bu tepkimelerin birinci adımında bir bağ kırılır, ikinci adımında yeni bir bağ oluşur.

3. Tepkimelerin durması: Radikaller çok aktif türler olduğu için aktifliği az moleküllerle etkileştikleri gibi birbiriyle de etkileşime girerek aktif olmayan moleküller oluşturabilir. Ortamdaki radikallerin tamamı radikal olmayan moleküllere dönüştüğünde tepkime durur. Bu basamakta Cl_2 ve C_2H_6 gibi istenmeyen ürünler de oluşabilmektedir.

$$Cl\bullet + Cl\bullet \longrightarrow Cl_2$$
$$\bullet CH_3 + \bullet CH_3 \longrightarrow C_2H_6$$

Alkanların Kullanım Alanları: Yakıtlar, Çözücüler ve Alkil Halojenürler

Alkanların dünyada en önemli doğal kaynakları fosil yakıtlar olarak bilinen doğal gaz, petrol ve kömürdür. Fosil yakıtlar, enerji verimliliği yüksek maddeler olduğu için özellikle enerji üretiminde kullanılır.

Doğal gaz, %90-95 oranında metan, %5-10 etan, propan, bütan, 2-metilpropan gibi kaynama noktası düşük bazı alkanların bir karışımıdır.

Etilen (eten), organik kimya endüstrisinin temel yapı taşı olan bir moleküldür ve büyük oranda, doğal gazdan ayrıştırılan etandan elde edilir. Etilen, organik polimerlerin üretiminde kullanılan çok önemli bir başlangıç maddesidir. Doymuş bir hidrokarbon olan etan, 800 °C-900 °C sıcaklıklara kadar ısıtılırsa karbon-hidrojen bağları kırılarak H_2 molekülü ayrılır ve doymamış bir hidrokarbon olan etilene (eten) dönüşür.

$$\underbrace{CH_3CH_3}_{\text{Etan}} \xrightarrow{800-900°C} \underbrace{CH_2 = CH_2}_{\text{Etilen}} + H_2$$

Petrol, birçok farklı türde hidrokarbonu ve bunların yanı sıra azotlu, kükürtlü ve oksijenli bazı bileşikleri de içeren bir karışımdır (Görsel 3.2). Petrolün yapısında yer alan atomların ortalama kütlece yüzdeleri Tablo 3.5'teki gibidir.

Tablo 3.5: *Petrolün yapısındaki atomların ortalama kütlece yüzdeleri*

Atomlar	Ortalama Kütlece (%)
Karbon	85
Hidrojen	13
Kükürt	1,5
Azot	0,3
Oksijen	0,2

Birçok petrol arıtım ürününün (benzin, asfalt, fuel-oil gibi) elde edilmesinde ve bazı kimyasal maddelerin (fenol, benzen, naftalin, etilen gibi) üretiminde ham madde olarak kullanıldığı için yer altından çıkarılan petrole **ham petrol** denir. Yüzlerce hidrokarbondan oluşan bir karışım olan ham petrol, doğrudan kullanılamayacağı için istenmeyen maddelerin en az düzeyde olduğu kullanılabilir ürünlere dönüştürülür. Ham petrolün ayrımsal damıtma işlemi ile bileşenlerine ayrıştırılmasına **petrolün rafinasyonu** denir. Ham petrolün rafine edilmesiyle sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), nafta, benzin, fuel-oil, gaz yağı, motorin (dizel), asfalt, madenî yağ vb. ürünler elde edilmektedir.



Görsel 3.2: *Petrol; deniz, göl veya akarsu yataklarında ölmüş bitki ve hayvan kalıntılarının yıllarca birikmesi ile oluşur.*

LPG, sıvılaştırılmış petrol gazıdır. Renksiz, kokusuz ve havadan ağır bir gazdır. LPG'nin kaynama noktası 30 °C'un altındadır. Karbon sayısı 1 ile 4 arasında değişen hidrokarbonlardan oluşur (Ülkemizde kullanılan LPG, bütan ve propandan oluşmaktadır.).

Benzin, karbon sayısı 5-10 arasında olan hidrokarbonları içeren bir tür otomobil yakıtıdır. İçten yanmalı bazı motorlarda ve bazı ısıtıcılarda yakıt olarak kullanılan benzin, kimya endüstrisinde çözücü madde olarak da kullanılmaktadır. Motorin (dizel), içten yanmalı bir motor türü olan dizel motorlarda yakıt olarak kullanılır.

Motorin, doymuş hidrokarbonlar (parafinler, halkalı parafinler gibi) ve aromatik hidrokarbonlardan (naftalin, alkilbenzen gibi) meydana gelmiştir. Motorin, karbon sayısı 16-60 olan hidrokarbonları içerir. Fuel-oil, karbon sayısı 70'ten fazla olan hidrokarbonları içeren, koyu renkte ve akışkanlığı az bir petrol ürünüdür.

Ülkemizde fuel-oil, içerdiği kükürt miktarına göre fuel-oil 3, fuel-oil 4, fuel-oil 5 ve fuel-oil 6 olmak üzere dört sınıfta toplanmıştır. İçerdiği kükürt miktarı en az olan (kütlece %1) fuel-oil 3'tür. Fuel-oil, özellikle binalarda merkezî ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanıldığından "kalorifer yakıtı" diye bilinmektedir. Akışkanlığının az olması ve yanma ürünü olan CO_2 gazı emisyon düzeyinin yüksek olması nedeniyle son yıllarda fuel-oilin kullanımına sınırlamalar getirilmiştir.

Asfaltın kimyasal bileşimi oldukça karmaşıktır. Asfalt, karbon sayısı 80'in üzerindeki hidrokarbonları içerir ve oldukça yoğun bir maddedir. Zift ve katran üretiminde kullanılır. Katran, akışkanlığı çok az olan, koyu siyah renkte bir sıvıdır. Zift, katrana göre akışkanlığı daha az bir maddedir. Ziftin kaynama noktası 580 °C'un üzerinde, karbon sayısı 70'ten fazladır.

Petrolden elde edilen alkan karışımları, petrolün temel kullanım alanları olan yakıt, çözücü ve yağlayıcı olarak kullanıma çok uygundur. Petrolün ayrımsal damıtılması ile elde edilen ürünlerin kullanım alanları farklı olduğu için piyasadaki talep miktarı da farklıdır (Tablo 3.6). Örneğin doğal gaz, kerosen ve gaz yağına göre daha fazla talep edilmektedir ancak petrolün ayrımsal damıtılmasıyla elde edilen kerosen ve gaz yağı miktarı, doğal gaza göre daha fazladır. Bu durumda ayrımsal damıtmayla elde edilen ürünlerin dikkatlice yeniden işlenmesi gerekmektedir.

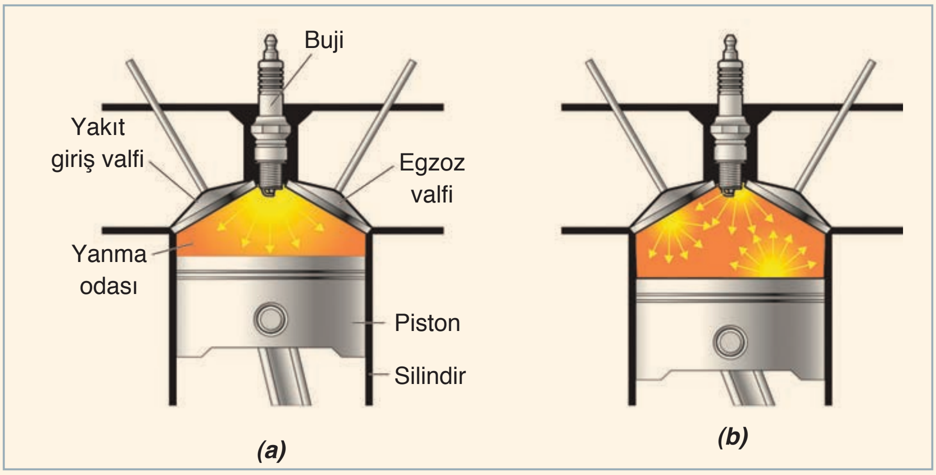
Tablo 3.6: *Ham petrolün ayrımsal damıtılması ile elde edilen bazı ürünler ve kullanım alanları*

Petrolün Ayrımsal Damıtma Ürünleri	Kaynama Aralığı (°C)	Karbon Sayısı	Kullanım Alanı
Doğal gaz, LPG	< 30	1-4	Yakıt
Benzin	30-180	5-10	Otomobil yakıtı
Kerosenler	180-260	10-16	Roket ve jet yakıtı
Gaz yağı ve motorin	260-350	16-60	Çözücü (gaz yağı) otomobil ve traktör yakıtı (motorin)
Gres yağı	350-375	> 60	Otomobiller ve motorlar için yağlama yağı
Fuel-oil	> 490	> 70	Motor yakıtı
Asfalt	> 580	>80	Zift, katran, su geçirmez madde

Okuma Metni

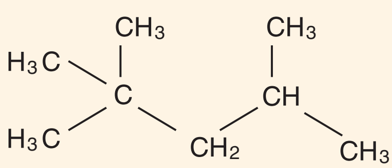
Benzinlerde Oktan Sayısı

Günümüzde petrol ürünleri içinde en çok kullanılanlardan biri benzindir. Ayrımsal damıtma ile elde edilen benzinin kalitesi çok yüksek değildir. Benzin kalitesini artırmak için büyük moleküllü hidrokarbonlar, daha küçük moleküllü hidrokarbonlara dönüştürülür. Bunun için karbon-karbon bağlarının kırılması gerekmektedir. Kalitesi düşük benzinin belirli katalizörler kullanılarak 900 °C sıcaklığa kadar ısıtılmasıyla karbon-karbon bağlarının kırılması mümkündür (katalitik kraking). Aynı işlem katalizörsüz de yapılabilir ancak bu durumda düz zincirli, küçük yapılı moleküller elde edilir ki bu, benzin kalitesini çok yükseltmez. Düz zincirli hidrokarbonlar içten yanmalı otomobillerin motorlarında küçük patlamalarla yanar (Bu patlamalar "vuruntu" olarak adlandırılır.).

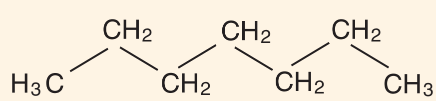


*İçten yanmalı bir motorda normal yanma **(a)** ve vuruntulu yanma **(b)***

Bu durum, içten yanmalı otomobillerin motorlarında pistonların yıpranmasına ve motor ömrünün kısalmasına sebep olur. Çok dallanmış bir bileşik olan 2,2,4-trimetilpentan (izooktan), içten yanmalı otomobil motorlarında çok düzgün (vuruntusuz) yanar. Bu nedenle izooktan oranı, benzin kalitesini ifade etmede kullanılan **oktan ölçeğinin** oluşturulmasında standart kabul edilmiştir. Bu ölçeğe göre 2,2,4-trimetilpentanın (izooktan) **oktan sayısı yüz (100)** olarak belirlenmiştir. İçten yanmalı motorlarda vuruntu sayısı en fazla olan bileşik heptandır ve heptanın **oktan sayısı sıfır (0)** kabul edilmiştir.



2,2,4-Trimetilpentan
(İzooktan)
Oktan sayısı = 100



Heptan
Oktan sayısı = 0

Örneğin %89 2,2,4-trimetilpentan (izooktan) ve %11 heptandan oluşan bir karışım ile içten yanmalı bir motorda aynı vuruntu özelliğine sahip benzinin oktan sayısı 89 olacaktır.

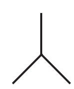
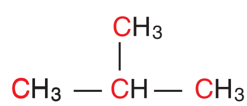
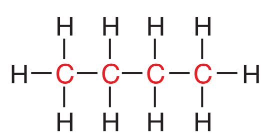
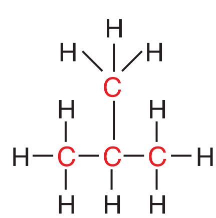
***Kaynak:** BRUICE, Paula Yurkanis, Organic Chemistry, 6th ed., Pearson Prentice Hall, United States of America, 2011.*

Alkanlar, doğal kaynaklardan elde edilebildiği gibi laboratuvarda bazı maddelerden de üretilebilir. Alkanların laboratuvar koşullarında üretilmesinde kullanılan en önemli maddeler alkil halojenürlerdir. Alkil halojenürler, alkandaki bir ya da daha fazla hidrojen atomunun halojen atomları ile yer değiştirmesiyle elde edilir. Alkil halojenürler içerisinde en bilinenleri karbon tetraklorür (CCl_4), kloroform $(CHCl_3)$, diklorometan (CH_2Cl_2) ve metil klorürdür (CH_3Cl). Alkil halojenürler, metanın ısı ya da ışık kullanılarak klorla yer değiştirme tepkimesi sonucunda elde edilir. Metan molekülünde hidrojen atomlarının klor atomları ile yer değiştirmesi sonucu metil klorür, diklorometan, kloroform ve karbon tetraklorür karışımı elde edilir. Bu karışımdaki bileşiklerin kaynama noktalarının farklı olmasından yararlanılarak ayrımsal damıtma ile bileşikler birbirinden ayrılır.

İzomerlik

Yeryüzünde neden bu kadar çok organik bileşik vardır? Acaba karbon atomu çok sayıda bağ oluşturabildiği için mi? Organik bileşiklerin en önemli özelliklerinden biri, sınırsız sayıda karbon atomunun bir araya gelebilmesidir. Bu durum, karbon atomlarının birbirine farklı dizilişlerde bağlanabilmelerine imkân verir. Organik bileşiklerden hidrokarbonları ele alalım. Hidrokarbonlar sadece karbon ve hidrojen içeren bileşiklerdir. Karbon sayısı arttıkça karbon atomlarının birbirine bağlanmalarında farklı birleşimlerin oluşma ihtimali de artar. Metan (CH_4), etan (C_2H_6) ve propan (C_3H_8) moleküllerinde karbon atomlarının diğer atomlar ile yaptığı bağlarda farklı bir düzenlenme mümkün değildir. Ancak bütan (C_4H_{10}) molekülünde mümkündür. Bütan molekülünde, karbon atomları art arda birbirine bağlandığında düz zincirli bir yapı oluşurken üç karbon atomu, tek bir karbon atomuna bağlandığında düz zincirli yapıdan farklı bir yapı oluşur ki bu yapı, dallanmış yapı olarak adlandırılır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7: *Bütan molekülünde karbon atomlarının bağlanma sıralarındaki farklılık ile oluşan düz zincirli ve dallanmış yapılar*

	Düz Zincirli Yapı	**Dallanmış Yapı**
Kapalı formül	C_4H_{10}	C_4H_{10}
Çizgi-bağ formülü (karbon zinciri)		
Yarı açık formül*	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	
Açık formül		
IUPAC adı	Bütan	2-Metil propan
Yaygın adı	n-Bütan	İzobütan

** Yarı açık formülde sadece karbon atomları arasındaki bağlar gösterilir.*

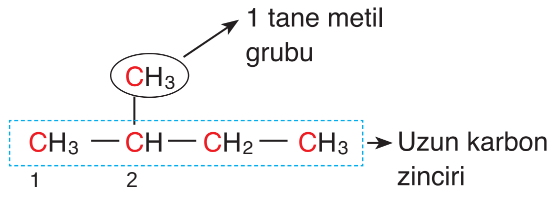
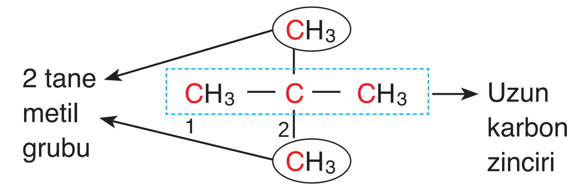
Düz zincirli ya da dallanmış yapıların yaygın adlandırılmasında aşağıdaki kurallar dikkate alınır:

1. Adlandırma toplam karbon sayısına göre yapılır.

2. Yapı, düz zincirli ise alkan adının önüne **normal (n-)** ifadesi getirilir.

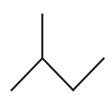
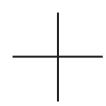
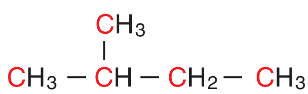
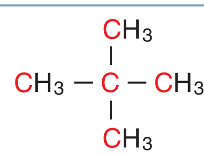
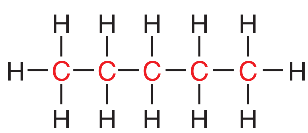
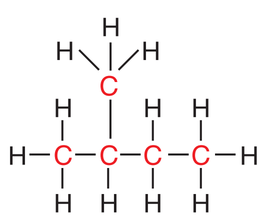
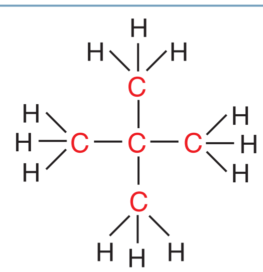
3. Dallanmış yapıda, uzun karbon zincirinde baştan ya da sondan 2. karbondaki metil (CH_3) 1 tane ise **izo-**, 2 tane ise **neo-** ön eki getirilerek adlandırılma yapılır (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: *Pentan molekülündeki dallanmış yapıların yaygın adlandırması*

	
İzopentan	Neopentan

Tablo 3.7'de düz zincirli yapı **n-bütan**, dallanmış yapıda toplam karbon sayısı 4 olduğu için ve 2. karbonda 1 tane metil (CH_3) bağlı olduğu için **izo** ön eki getirilerek **izobütan** olarak adlandırılmıştır. Düz zincirli ve dallanmış yapılarda bulunan karbon atomları arasındaki farklı diziliş sayısı, karbon atomu sayısının artmasıyla artar. Tablo 3.9'daki dallanmış yapıları inceleyiniz.

Tablo 3.9: *Pentan molekülünde karbon atomlarının bağlanma sıralarındaki farklılık ile oluşan düz zincirli ve dallanmış yapılar*

	Düz Zincirli Yapı	Dallanmış Yapı	Dallanmış Yapı
Kapalı formül	C_5H_{12}	C_5H_{12}	C_5H_{12}
Çizgi-bağ formülü (karbon zinciri)			
Yarı açık formül	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$		
Açık formül			
IUPAC adı	Pentan	2-Metil bütan	2,2-Dimetil propan
Yaygın adı	n-Pentan	İzopentan	Neopentan

Dikkat edilirse bütan molekülünde, düz zincirli ve dallanmış yapılardaki atom sayıları **aynı** ancak atomların düzenleniş sıraları (birbirine bağlanma yerleri) **farklı**dır. Benzer durum pentan molekülü için de geçerlidir. Bu şekilde, kapalı formülleri aynı, açık yapıları birbirinden farklı moleküllere **izomer** denir. İzomerlik, yapısal izomerlik ve üç boyut izomerliği olmak üzere ikiye ayrılır. Bu bölümde sadece yapısal izomerlik ele alınacaktır. Yapısal izomerlikte, moleküllerin kapalı formülleri aynı iken atomların birbirine bağlanma yerleri farklıdır. Yapısal izomerlik dörde ayrılır:

a. Zincir-dallanma izomerliği

b. Zincir-halka izomerliği

c. Konum izomerliği

ç. Fonksiyonel grup izomerliği (Fonksiyonel grup izomerliği sonraki bölümlerde açıklanacaktır.)

a. Zincir-Dallanma İzomerliği

Kapalı formülleri aynı organik bileşiklerde (özellikle hidrokarbonlarda), karbon atomlarının birbirine farklı yerlerden bağlanmasıyla oluşan izomerliğe **zincir-dallanma izomerliği** denir. Metan, etan ve propan moleküllerinde, karbon atomlarının birbirine farklı şekillerde bağlanması mümkün olmadığı için farklı bir karbon zinciri mümkün değildir (Tablo 3.10). Bu moleküllerde zincir-dallanma izomerliği yoktur.

Tablo 3.10: *Metan, etan ve propan moleküllerinde karbon zinciri*

Metan	Etan	Propan
CH_4	H_3C-CH_3	$H_3C-CH_2-CH_3$

Karbon sayısı arttıkça karbon atomları farklı yerlerden birbirine bağlanarak farklı bir karbon zinciri oluşturabilir. 4 karbonlu bütan molekülünde, iki farklı karbon zinciri oluşması mümkündür. Bu nedenle bütanın iki zincir-dallanma izomeri vardır. 5 karbonlu pentan molekülünde ise üç farklı karbon zinciri söz konusudur ve pentanın üç zincir-dallanma izomeri vardır. Karbon sayısı arttıkça zincir-dallanma izomeri sayısının da arttığı görülmektedir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11: *Bazı alkanlarda izomer sayısı*

Molekül Formülü	Olası İzomer Sayısı
C_4H_{10}	2
C_5H_{12}	3
C_6H_{14}	5
C_7H_{16}	9
C_8H_{18}	18
C_9H_{20}	35
$C_{10}H_{22}$	75
$C_{15}H_{32}$	4347

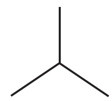
!

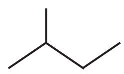
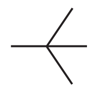
Organik bileşiklerde karbon zincirinin uçlarında meydana gelen kırılmalar, karbon atomlarının birbirine bağlanma yerlerinde farklılık oluşturmayacağı için zincir-dallanma izomerliği oluşturmaz. Aşağıdaki örnekte verilen moleküller izomer değildir.

$CH_2-CH_2-CH_3$ (ilk CH_2 üzerinde CH_3) $CH_3-CH_2-CH_2$ (son CH_2 üzerinde CH_3)

İzomerlerin kapalı formülleri aynı olsa da molekül yapıları farklı olduğu için kimyasal ve fiziksel özellikleri farklıdır. Tablo 3.12'deki bütan ve pentan moleküllerinin izomerlerine ait kaynama noktaları verilmiştir.

Tablo 3.12: *Bütan ve pentan moleküllerinin zincir-dallanma izomerleri ve bunlara ait kaynama noktaları*

Bütanın Zincir-Dallanma İzomerleri	
 n–Bütan Kaynama noktası: –0,4 °C	 İzobütan Kaynama noktası: –11,6 °C

Pentanın Zincir-Dallanma İzomerleri		
 n–Pentan Kaynama noktası: 36,1 °C	 İzopentan Kaynama noktası: 27,9 °C	 Neopentan Kaynama noktası: 9,5 °C

n –bütan ve izobütanın kaynama noktalarının farklı olduğuna dikkat ediniz. Benzer şekilde n-pentan, izopentan ve neopentan moleküllerinde de kaynama noktaları farklıdır.

b. Zincir-Halka İzomerliği

Kapalı formülleri aynı olan halkalı ya da düz zincirli organik bileşikler bulunmaktadır. Kapalı formülleri aynı olan bu tür bileşiklerin oluşturduğu izomerliğe **zincir-halka izomerliği** denir.

Karbon sayıları eşit olan sikloalkan ve alken bileşikleri birbirinin zincir-halka izomeridir. Benzer şekilde kapalı formülleri aynı olan alkinler ve sikloalkenler de birbirinin zincir-halka izomeridir (Tablo 3.13).

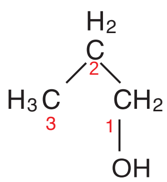
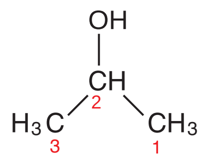
Tablo 3.13: *Siklopropan ile propen; siklobütan ile 2-büten; siklobüten ile 1-bütin bileşiklerinde zincir-halka izomerliği*

CH_2 / $H_2C - CH_2$ (halka) Siklopropan	Kapalı formül: C_3H_6	$CH_2 = CH - CH_3$ Propen
$H_2C - CH_2$ $H_2C - CH_2$ (halka) Siklobütan	Kapalı formül: C_4H_8	$CH_3 - CH = CH - CH_3$ 2-Büten
$H_2C - CH$ $H_2C - CH$ (halka, CH=CH) Siklobüten	Kapalı formül: C_4H_6	$HC \equiv C - CH_2 - CH_3$ 1-Bütin

c. Konum İzomerliği

Organik bileşiklerde izomerlik, fonksiyonel grupların bağlanma yerlerindeki farklılık ile de mümkündür. Bir organik bileşikte fonksiyonel grubun konumu (bağlı olduğu karbon atomu) farklı olursa bu, **konum izomerliği** olarak adlandırılır. Örneğin C_3H_8O kapalı formülüne sahip 1-propanol ve 2-propanol bileşikleri birbirinin konum izomeridir (Tablo 3.14).

Tablo 3.14: *1-propanol ve 2-propanol bileşiklerinde konum izomerliği ve kaynama noktaları*

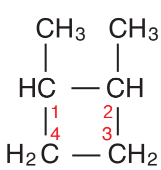
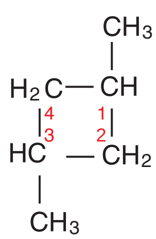
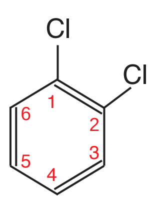
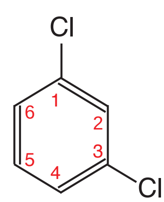
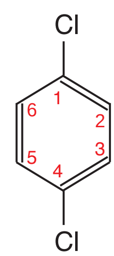
1–Propanol	2–Propanol
	
Kaynama noktası: 97,25 °C	Kaynama noktası: 82,25 °C

1-propanol ve 2-propanol bileşiklerinin kapalı formülleri aynı, açık formülleri farklıdır. Hidroksil grubu, 1-propanol bileşiğinde 1 numaralı karbon atomuna bağlı iken 2-propanol bileşiğinde 2 numaralı karbon atomuna bağlıdır. Dolayısıyla hidroksil gruplarının bağlanma yerleri (bağlandıkları karbon atomları) farklıdır.

Bu iki molekül farklı yapılardadır. Bu nedenle bu moleküllerin kimyasal özellikleri ve fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır.

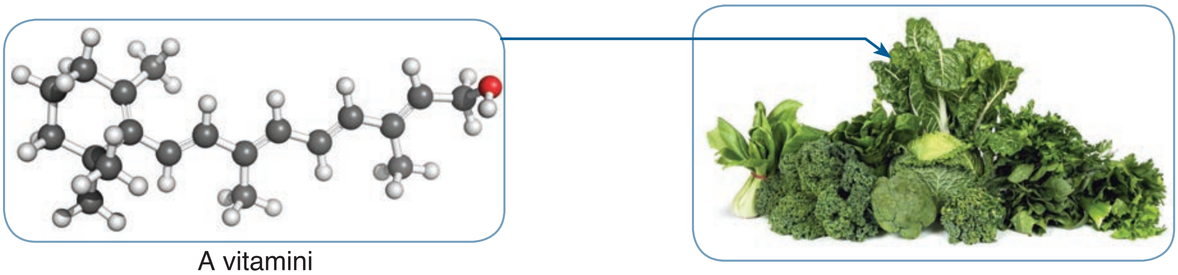
Konum izomerliği, düz zincirli ve dallanmış yapılarda olduğu gibi halkalı yapıdaki hidrokarbonlarda ya da aromatik bileşiklerde de görülebilir. Halkalı yapıdaki ya da aromatik bileşiklerde grupların birbirine göre konumlarında (bağlandıkları karbon atomlarında) farklılık söz konusuysa konum izomerliği vardır. Tablo 3.15'teki örnekleri inceleyiniz.

Tablo 3.15: *Halkalı yapıdaki organik bileşik ile aromatik bir bileşikte konum izomerliği*

Halkalı Yapıdaki Organik Bileşik		Aromatik Bileşik		
				
1,2-Dimetil siklobütan	1,3-Dimetil siklobütan	1,2-Diklorobenzen	1,3-Diklorobenzen	1,4-Diklorobenzen
C_6H_{12}		$C_6H_4Cl_2$		

3.1.3. Alkenler

Koyu yeşil yapraklı bitkilerden elde edilen A vitamini (Görsel 3.3), hayvanlardan elde edilen kolesterol ve bazı ağaçlardan elde edilen kauçuk ortak bir özelliğe sahiptir. Bu maddelerin sahip oldukları moleküller, karbon-karbon ikili bağı içeren alkenlerdir.



A vitamini

***Görsel 3.3:** Koyu yeşil yapraklı bitkiler (ıspanak, marul, maydonoz vb.) A vitamini kaynağıdır.*

Alkenler, karbon atomları arasında en az bir tane ikili bağ içeren [en az bir tane pi (π) bağı] ve genel formülleri C_nH_{2n} olan doymamış hidrokarbonlardır. Yapısında birden fazla ikili bağ bulunduran alkenlere **polialken** denir. Aynı karbon sayısına sahip alkanlardan daha az hidrojen atomuna sahiptir. Alkenler için, “yağ oluşturucu” maddeler anlamına gelen, eski bir ad olan “olefinler” adı da kullanılmaktadır. Çünkü eten gazı (C_2H_4) klor gazıyla tepkime vererek bir sıvı (yağ) olan $C_2H_4Cl_2$ bileşiğini meydana getirir.

Alkenlerin Adlandırılması

Alkenlerin IUPAC adlandırılması, alkanların adlandırılmasına benzemektedir. Bir alken adlandırılırken aynı karbon sayılı alkanın adının sonundaki **-an** son eki yerine **-en** son eki getirilir. Yaygın olarak kullanılan bazı alkenlerin geçmişte kullanılmış yaygın adları günümüzde de geçerlidir ve IUPAC tarafından bu yaygın adlar kabul edilmiştir.

Bazı alkenlerin IUPAC ve yaygın adları Tablo 3.16’da verilmiştir.

***Tablo 3.16:** Bazı alkenlerin IUPAC ve yaygın adları*

Alken	IUPAC Adı	Yaygın Adı
$CH_2=CH_2$	Eten	Etilen
$CH_3CH=CH_2$	Propen	Propilen
$CH_3C(CH_3)=CH_2$	2-Metilpropen	İzobütilen
$CH_2=C(CH_3)CH=CH_2$	2-Metil-1,3-Bütadien	İzopren

Alkenlerden 1 hidrojen atomu çıkarılmasıyla elde edilen gruba **alkenil** denildiğini hatırlayalım. Etenil ve 2-propenil yaygın olarak kullanılan alkenil gruplarıdır. Bu grupların da yaygın adları vardır.

Alkenil Grubu	IUPAC Adı	Yaygın Adı
$CH_2=CH-$	Etenil	Vinil
$CH_2=CHCH_2-$	2-Propenil	Allil

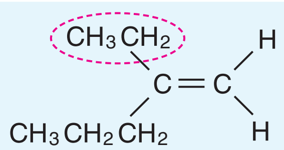
Alkenlerin IUPAC adlandırması üç adımda gerçekleştirilebilir:

1. adım: En uzun karbon zincirinin (ana zincir) belirlenmesi

İkili bağı içeren en uzun karbon zinciri belirlenir. Ana zincirdeki karbon sayısına karşılık gelen alkanın adının sonundaki **-an** son eki yerine **-en** son eki getirilerek bileşiğin temel adı belirlenir.

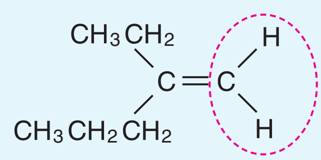
Strateji

Alkenlerde fonksiyonel grup, karbon atomları arasındaki ikili bağdır. Bu nedenle en uzun karbon zinciri mutlaka ikili bağı içermelidir.



İkili bağ, 5 karbon içeren ana zincirde yer alır. Bu nedenle pent**en** olarak adlandırılır.

Ana zincirdir.



İkili bağ, 6 karbon içeren ana zincirde yer almamaktadır. Bu nedenle hekzen olarak adlandırılamaz.

Ana zincir değildir.

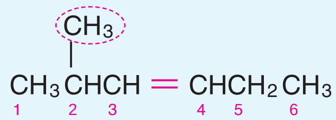
2. adım: Ana zincirde karbon atomlarının numaralandırılması

a. Ana zincirde ikili bağın yakın olduğu uçtan başlanarak (ikili bağa en küçük sayı gelecek şekilde) karbon atomları numaralandırılır.

$$\underset{6}{CH_3}\underset{5}{CH_2}\underset{4}{CH_2}\underset{3}{CH}=\underset{2}{CH}\underset{1}{CH_3}$$

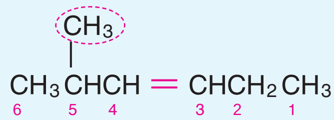
Yukarıdaki bileşikte ikili bağ, 2 ve 3 numaralı karbon atomları arasındadır. İkili bağın yeri belirtilirken 2 numaralı karbon atomunun (sayısı küçük olan karbon) numarası kullanılır.

b. İkili bağ, ana zincirde her iki uçtan aynı uzaklıkta ise (ikili bağa aynı sayı geliyorsa) numaralandırmaya dallanmanın yakın olduğu (alkil gruplarına küçük sayı gelecek şekilde) uçtan başlanır.



3 ve 4 numaralı karbonlar arasında **ikili bağ**
2 numaralı karbonda **metil**

Doğru numaralandırma



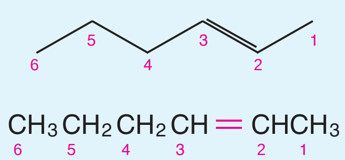
3 ve 4 numaralı karbonlar arasında **ikili bağ**
5 numaralı karbonda **metil**

Yanlış numaralandırma

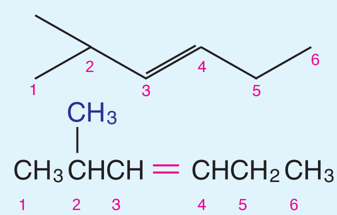
3. adım: Ana zincire bağlı grupların yerlerinin belirtilmesi ve adlandırılması

Ana zincire bağlı gruplar varsa bu grupların yeri (bağlı oldukları karbon atomunun numarası) ve sayıları alfabetik sıraya göre belirtilir. Alken, birden fazla ikili bağ içeriyorsa ikili bağların yeri (ikili bağın bulunduğu en küçük numaralı karbonun numarası) ve sayısı (dien, trien gibi son eklerle) belirtilir.

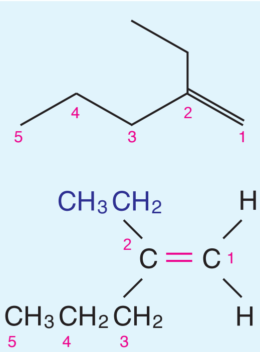
Aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.



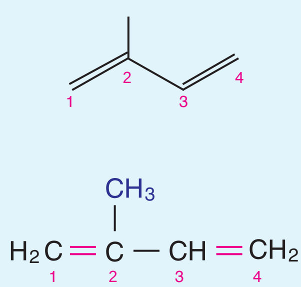
2-Hekzen



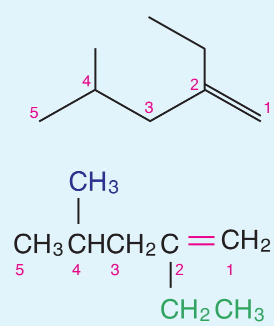
2-Metil-3-hekzen



2-Etil-1-penten

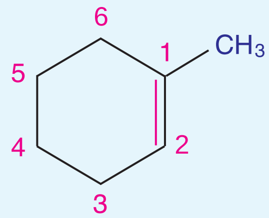


2-Metil-1,3-bütadien

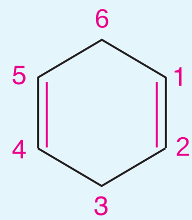


2-Etil-4–Metil-1-penten

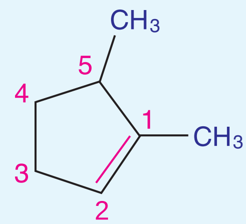
Halkalı yapıdaki alkenlerin (sikloalkenlerin) adlandırılmasında, halkayı oluşturan karbon atomları, ikili bağ içeren karbon atomlarına en küçük sayı gelecek şekilde numaralandırılır. Halkaya bağlı gruplar varsa bağlı grupların yeri ve sayısı belirtilir. Halkalı yapıda sadece bir tane ikili bağ varsa ikili bağın yerini belirtmeye gerek yoktur. Çünkü ikili bağ, her zaman 1 numaralı karbon atomuyla başlar (1 ve 2 numaralı karbon atomları arasında olduğu için). Diğer adlandırma kuralları halkalı yapıdaki alkenler için de geçerlidir. Aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.



1-Metilsiklohekzen



1,4-Siklohekzadien

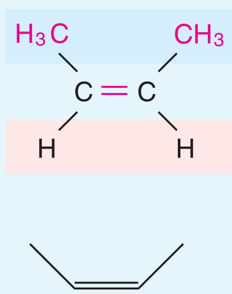


1,5-Dimetilsiklopenten

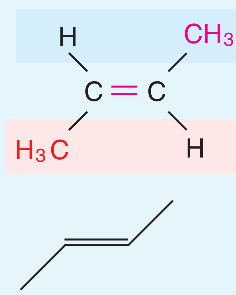
Alkenlerde Geometrik İzomerlik (Cis-Trans İzomerlik)

Alkenlerin en temel özelliği, karbon atomları arasında en az bir tane ikili bağ içermesidir. Karbon atomları arasındaki ikili bağ, karbon atomlarının bağ ekseni etrafında dönmesini engeller. Bu durum, ikili bağ ile bağlı komşu karbon atomlarındaki grupların bağ ekseni etrafında konumlarının değişmesiyle farklı moleküllerin oluşmasına neden olur. Kapalı formülleri aynı olan bu moleküller, birbirinin **geometrik izomeri**dir **(cis-trans izomeri)**. İkili bağın ucundaki karbon atomlarına bağlı iki atom ya da grup, ikili bağ ekseninin aynı tarafında ise **cis-**, farklı tarafında ise **trans-** izomer olarak adlandırılır.

2-büten $(CH_3CH = CHCH_3)$ bileşiğinin iki farklı açık formülü yazılabilir. Bu durum, iki farklı 2-büten molekülü olduğunu göstermektedir. Bu moleküllerde alkil grupları; ikili bağın aynı tarafında ise molekül cis-2-büten; farklı tarafında ise trans-2-büten olarak adlandırılır.



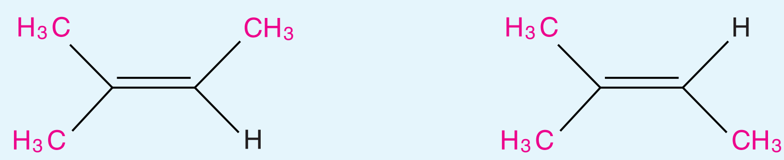
cis-2-Büten



trans-2-Büten

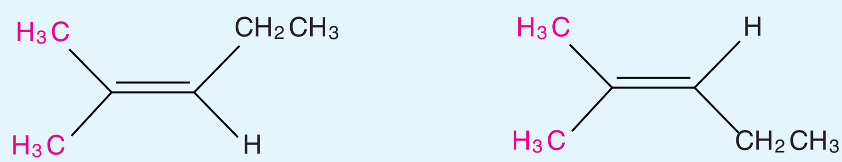
Yukarıdaki moleküllerin yapısına dikkat ederseniz metil grupları her iki durumda da aynı karbon atomuna bağlıdır. Moleküllerde sadece metil gruplarının ikili bağ ekseni etrafındaki konumları değişmiştir.

İkili bağa sahip karbon atomlarına 3 tane aynı grup bağlı olursa farklı iki molekül oluşamayacağı için bu moleküller arasında cis-trans izomerliği yoktur.



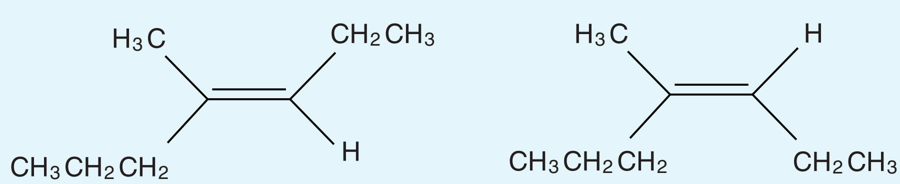
Aynı moleküllerdir. Bu moleküller birbirinin cis-trans izomeri değildir.

İkili bağa sahip karbon atomlarından birine aynı gruplar bağlı ise bu moleküller arasında cis-trans izomerliği yoktur.



Aynı moleküllerdir. Bu moleküller birbirinin cis-trans izomeri değildir.

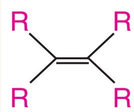
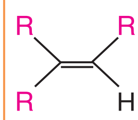
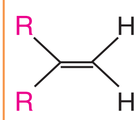
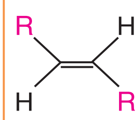
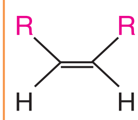
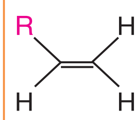
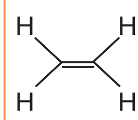
İkili bağa sahip karbon atomlarına 4 farklı grup bağlı ise bu moleküller arasında da cis-trans izomerliği yoktur.



Bu moleküller, farklı moleküllerdir ve birbirinin izomeridir ancak cis-trans izomeri olarak nitelendirilmez. Bu tür moleküller için farklı bir adlandırma sistemi kullanılır.

!

Aşağıdaki molekül modellerinde moleküllerin cis-trans izomerlik durumları belirtilmiştir. Hangi moleküllerde cis-trans izomerlik görüldüğünü inceleyiniz.

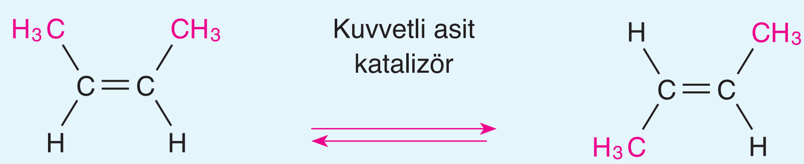
Moleküller							
Cis-Trans İzomerlik	Yoktur.	Yoktur.	Yoktur.	Trans izomer	Cis izomeri	Yoktur.	Yoktur.

Alkenlerin cis-trans izomerleri incelendiğinde, bazı fiziksel özelliklerinin ve kimyasal tepkimeye girme isteklerinin cis ya da trans izomer olma durumuna göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Tablo 3.17'de cis-2-büten ve trans-2-büten izomerlerinin erime ve kaynama noktaları verilmiştir. Bu iki izomerin erime ve kaynama noktalarının farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.17: *Cis-2-büten ve trans-2-büten izomerlerinin erime ve kaynama noktaları*

İzomer	**Erime Noktası (°C)**	**Kaynama Noktası (°C)**
cis-2-Büten	–139	4
trans-2-Büten	–105	1

Cis-2-büten ve trans-2-büten izomerleri kendiliğinden birbirine dönüşmez ancak kuvvetli asit katalizörlüğünde birbirine dönüştürülebilir. Bu tepkime, bir denge tepkimesidir ve trans-2-büten izomeri, cis-2-büten izomerine göre daha kararlıdır. Bu nedenle denge tepkimesi, %76'ya %24 oranında trans-2-büten izomerinin oluşumu lehinedir.



Cis (%24) Trans (%76)

Örnek

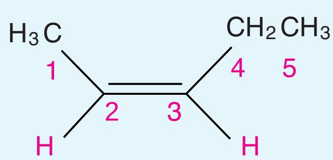
2-penten bileşiğinin cis ve trans izomerlerini gösterelim.

Strateji

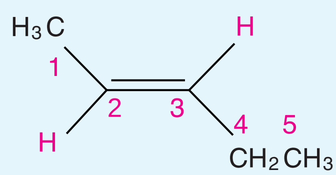
Molekülün açık formülü yazılıp ikili bağa sahip karbonlara bağlı gruplar, ikili bağ ekseninde aynı ya da farklı taraflara yazılır.

Çözüm

İkili bağa sahip karbon atomlarına bağlı iki grup, ikili bağ ekseninin aynı tarafında ise cis izomer, farklı tarafında ise trans izomer olarak adlandırılır. Her iki molekülde de ana zincir, 5 karbonludur. İkili bağ, 2 ve 3 numaralı karbon atomları arasındadır.



cis-2-Penten



trans-2-Penten

Alıştırma

Aşağıda verilen bileşiklerin cis ve trans izomerlerinin açık formüllerini yazınız.

a) 3-Hekzen

b) 3,4-Dimetil-2-penten

Alkenlerin Kullanım Alanları

Alkenlerin fiziksel özellikleri alkanlara benzer. Alkenlerin beş karbonluya kadar olan üyeleri (eten, propen ve büten) oda koşullarında gaz hâlde bulunur. Alkenler, apolar moleküller oldukları için suda çözünmez ancak organik çözücülerde ya da apolar çözücülerde çözünür. Alkenlerin yoğunlukları ise suyun yoğunluğundan düşüktür.

Alkenler, doğada bol miktarda üretilmektedir. Örneğin etilen, bir bitkinin meyvesinin olgunlaşmasını sağlayan bir bitki hormonudur. Domates ve muz gibi meyvelerin olgunlaşmasına yardımcı olur (Görsel 3.4). Taşınması sırasında fazla zarar görmemesi için yeşil olarak toplanan domates ve muz gibi meyvelerin olgunlaşmasını sağlamak için etilen, ticari meyve endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. A vitamini kaynağı olan ve havuca rengini veren β-karoten, 11 tane ikili bağ içeren bir polialkendir.

Alkenler, canlıların yaşamsal faaliyetlerinin sağlanması için doğal yollarla üretildiği gibi endüstriyel ihtiyaçları karşılamak için yapay olarak da üretilebilmektedir. Alkil halojenürler ve alkollerin üretilmesinde kullanılan alkenler, polimerlerin üretiminde başlangıç maddesi olarak kullanılmaktadır. Alkenlerin en az karbon sayılı bileşikleri olan eten ve propen, endüstriyel amaçlar doğrultusunda üretilen en önemli bileşiklerdir. Eten, birçok endüstriyel bileşiğin üretiminde başlangıç maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu bileşiklerden başlıcaları etilklorür, etanol ve polietilendir.



(a)



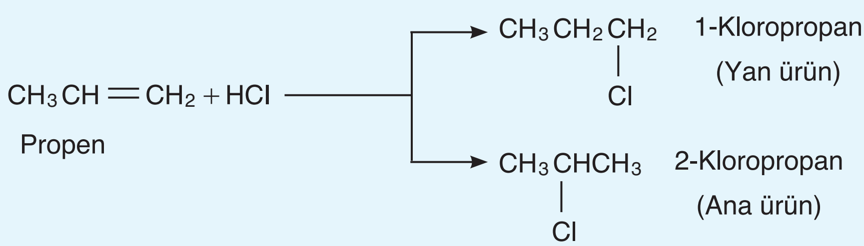
(b)

Görsel 3.4: a. *Olgunlaşmadan toplanan muz* ***b.*** *Domates, fazla zarar görmeden taşındıktan sonra etilen ile olgunlaştırılmak için bekletilir.*

Alkenlere uygun koşullarda hidrojen halojenür (HCl, HBr) katıldığında alkil halojenürler elde edilir. Alkenlere hidrojen halojenür, Markovnikov Kuralı'na göre katılır. Bu kurala göre hidrojen sayısı fazla olan ikili bağ karbonuna hidrojen katılır, hidrojen sayısı az olan ikili bağ karbonuna ise halojen katılır. Bu şekilde oluşan ürün ana üründür. İkili bağ karbonları eşit sayıda hidrojen içeriyorsa bu kural dikkate alınmaz. Alken molekülünde ikili bağdaki pi bağı açılır, ikili bağdaki karbon atomlarından birine hidrojen atomu ve diğerine halojen bağlanır. Eten molekülü HCl ile tepkimeye girdiğinde etilklorür elde edilir.

$$\underset{\text{Eten}}{CH_2{=}CH_2} + HCl \longrightarrow \underset{\text{Etilklorür}}{CH_3CH_2Cl}$$

Yukarıdaki tepkimede, propen kullanılırsa iki farklı alkil halojenür elde edilir. 2-kloropropan molekülü, 1-kloropropan molekülüne göre daha kararlıdır ve ana ürün 2-kloropropandır.



Alkenlere H_2 katıldığında alkanlar elde edilir. Eten molekülüne H_2 katılırsa etan elde edilir.

$$\underset{\text{Eten}}{CH_2 = CH_2} + H_2 \rightarrow \underset{\text{Etan}}{CH_3CH_3}$$

Alkoller, alkenlere su katılmasıyla elde edilir. Ancak alkenler suda çözünmedikleri için alkollerin elde edilmesi asit katalizörlüğünde gerçekleşir. Alkenlere su katılması da Markovnikov Kuralı'na göre katılır. Bu kurala göre hidrojen sayısı fazla olan ikili bağ karbonuna hidrojen katılır, hidrojen sayısı az olan ikili bağ karbonuna ise hidroksil katılır. Bu şekilde oluşan ürün ana üründür. İkili bağ karbonları eşit sayıda hidrojen içeriyorsa bu kural dikkate alınmaz. Etenden etanol eldesi su katılmasına ilişkin önemli tepkimelerdendir.

$$\underset{\text{Eten}}{CH_2 = CH_2} + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{Etanol}}{CH_3CH_2OH}$$

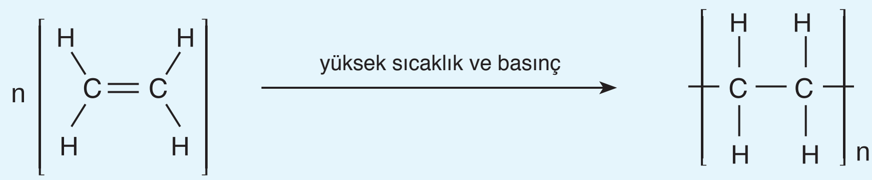
Propen molekülüne su katılması ile iki farklı ürün elde edilir. 2-propanol molekülü, 1-propanol molekülüne göre daha kararlıdır ve ana ürün 2-propanoldür.

$$\underset{\text{Propen}}{CH_3CH = CH_2} + H_2O \rightarrow \underset{OH}{CH_3CH_2CH_2} \quad \text{1-Propanol (Yan ürün)}$$

$$\underset{\text{Propen}}{CH_3CH = CH_2} + H_2O \rightarrow CH_3\underset{OH}{CH}CH_3 \quad \text{2-Propanol (Ana ürün)}$$

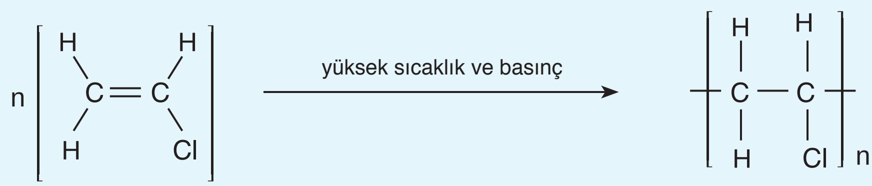
Günlük hayatta birçok kullanım alanına sahip polimerlerin genel özelliklerini 10. sınıf "Hayatımızda Kimya" ünitesinde görmüştünüz. Polimerler, üretim şekline göre doğal ve yapay polimerler olarak sınıflandırılabilir. Doğal polimerler, canlı sistemler tarafından üretilir. Nişasta, selüloz, proteinler, doğal kauçuk, ipek doğal polimerlere örnektir. Yapay polimerler ise laboratuvarda üretilir. Polietilen, polivinilklorür, polistiren, politetrafloroetilen ve politetrakloroetilen yapay polimerlerdir. Yapay polimerlerin üretiminde kullanılan başlangıç maddeleri alkenler ya da alkenlerden türetilmiş bazı ikili bağ içeren bileşiklerdir. Başlangıç maddelerindeki ikili bağları oluşturan pi bağları kolayca açılarak moleküllerin birbirine bağlanmasına imkân verir. Çok sayıda molekülün birbirine bağlanmasıyla da polimerler oluşur.

Polietilen (PE), yüksek sıcaklık ve basınçta uygun katalizörler eşliğinde başlangıç maddesi olarak kullanılan etilen molekülünün polimerleşmesi ile elde edilir.



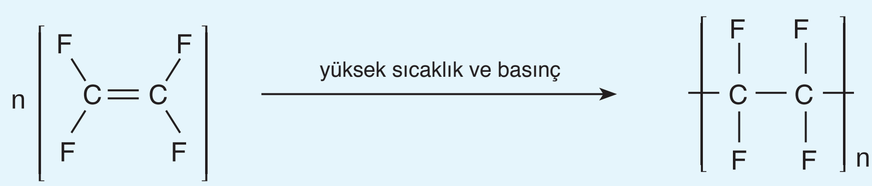
Etilen Polietilen

Polivinil klorür (PVC), vinil klorürün polimerleşmesi ile elde edilir. Polivinil klorür eldesinde başlangıç maddesi olarak kullanılan vinil klorür, etilen molekülünden elde edilmektedir.



Vinil klorür Polivinil klorür (PVC)

Tetrafloroetilen, teflon olarak bilinen politetrafloroetilen polimerinin üretilmesinde başlangıç maddesi olarak kullanılır. Başlangıç maddesi olan tetrafloroetilen, etilen molekülünden üretilmektedir.

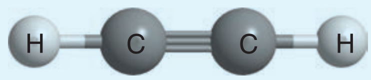


Tetrafloroetilen Politetrafloroetilen (Teflon)

3.1.4. Alkinler

Alkinler, karbon-karbon üçlü bağlarına sahip doymamış hidrokarbonlardır. Yapısında birden fazla üçlü bağ bulunan alkinlere **polialkin** denir. Alkinler doğada bulunabildiği gibi aynı zamanda laboratuvarda da üretilebilmektedir. Alkinlerin en basit üyesi, asetilen olarak da bilinen etindir (C_2H_2).

$$H-C\equiv C-H$$



C_2H_2

Etin (asetilen)

Laboratuvarda ilk defa Friedrich Wöhler, 1862'de kalsiyum karbürün (CaC_2) suyla tepkimesinden etin (asetilen) elde etmeyi başarmıştır. Bu yolla elde edilen etin, eskiden madencilerin kask lambalarında (Görsel 3.5.a) ve karpit lambalarında (Görsel 3.5.b) yakıt olarak kullanılmıştır. En bilinen üyesi asetilen olduğu için alkinler, asetilenler olarak da adlandırılır.



(a)



(b)

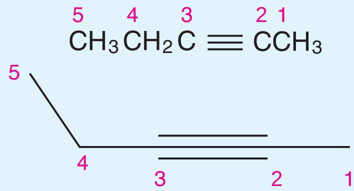
Görsel 3.5: a. *Eskiden madencilerin kullandığı asetilen (etin) ile çalışan kask lambası* ***b.*** *Karpit lambası*

Alkinlerin genel formülü C_nH_{2n-2} dir. Alkinlerde, üçlü bağdaki karbon atomları sp hibritleşmesi yapmıştır. Molekül geometrileri doğrusal olan alkinlerde cis-trans izomerliği görülmez.

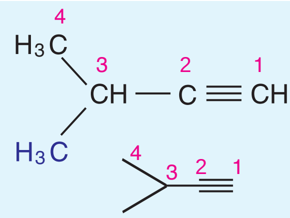
Alkinlerin Adlandırılması

Alkinlerin IUPAC adlandırılması, aynı karbon sayılı alkanın adının sonundaki **-an** son eki yerine **-in** son eki getirilerek yapılır. Ana zincir belirlenirken üçlü bağın yer aldığı en uzun karbon zinciri, ana zincir olarak alınır. Ana zincirde üçlü bağın yakın olduğu uçtan başlanarak (üçlü bağ karbonlarına en küçük sayı gelecek şekilde) karbon atomları numaralandırılır. Üçlü bağın iki karbonundan küçük numaralı karbonun numarası, üçlü bağın yerini belirtmede kullanılır. Ana zincire bağlı gruplar varsa bu grupların yeri (bağlı oldukları karbon atomunun numarası) ve sayıları alfabetik sıraya göre belirtilir. Alkin birden fazla üçlü bağ içeriyorsa üçlü bağların yeri (üçlü bağın bulunduğu en küçük numaralı karbonun numarası) ve sayısı (diin, triin gibi son eklerle) belirtilir.

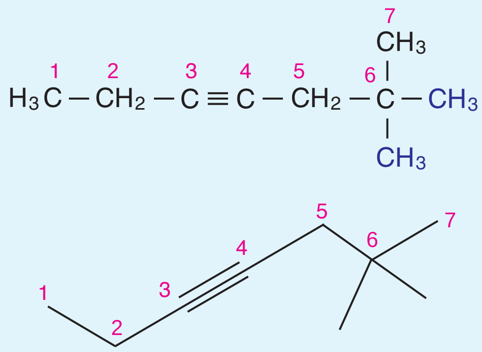
Verilen bilgiler doğrultusunda, aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.



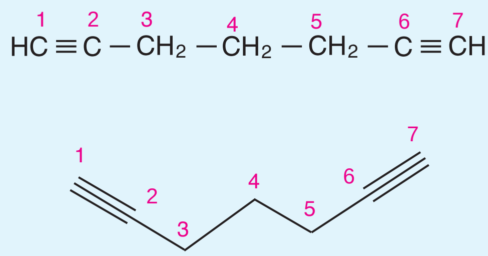
2-Pentin



3-Metil-1-bütin



6,6-Dimetil-3-heptin



1,6-Heptadiin

Yaygın olarak kullanılan bazı alkinlerin geçmişte kullanılmış yaygın adları günümüzde de kullanılmaktadır. Bazı alkinlerin IUPAC ve yaygın adları Tablo 3.18'de verilmiştir.

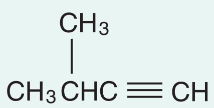
Tablo 3.18: *Bazı alkinlerin IUPAC ve yaygın adları*

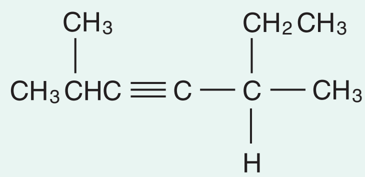
Alkin	IUPAC Adı	Yaygın Adı
$CH_3C\equiv CH$	Propin	Metil asetilen
$CH_3C\equiv CCH_3$	2-Bütin	Dimetil asetilen
$H_2C=\overset{H}{\overset{\vert}{C}}-C\equiv CH$	1-Büten-3-in*	Vinil asetilen

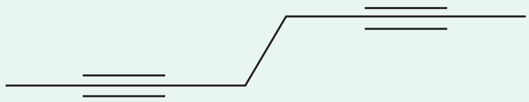
* Alkin molekülünde ana zincirde ikili ve üçlü bağ zincirin ucuna eşit uzaklıktaysa ikili bağa öncelik verilir (İkili bağa küçük sayı gelecek şekilde numaralandırılır.).

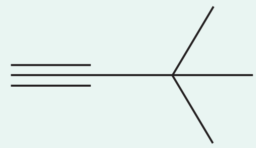
Alıştırma

1) Aşağıda verilen bileşiklerin IUPAC adlarını yazınız.

a) 

b) 

c) 

ç) 

2) Aşağıda IUPAC adları verilen bileşiklerin açık formüllerini yazınız.

Bileşik Adları		Bileşik Formülleri	
a)	2-Metil-3-hekzin	**b)**	4,4-Dimetil-2, 5-heptadiin
c)	3-Etil-2,3-dimetil-4-oktin	**ç)**	3-Metil-1-pentin

Alkinlerin Özellikleri

Molekül kütlesi küçük olan alkinler, düşük erime ve kaynama noktasına sahiptir ve oda sıcaklığında gaz hâlde bulunur (Tablo 3.19). Oda sıcaklığında sıvı olanların yoğunluğu 1 g/mL'den küçüktür. Alkinler, alkanlar ve alkenler gibi apolar moleküller olduğu için su ve su gibi polar çözücülerde çözünmez, apolar organik çözücülerde çözünür.

Tablo 3.19: *Molekül kütlesi küçük olan bazı alkinlerin erime noktası, kaynama noktası ve yoğunlukları*

Adı	Formülü	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Yoğunluk (g/mL) (20 °C'ta, 1 atm'de)
Etin	$HC \equiv CH$	–81	–84	0,00118 (gaz)
Propin	$H_3C - C \equiv CH$	–102	–23	0,53 (gaz)
1-bütin	$H_3C \backslash H_2C - C \equiv CH$	–126	8	0,67 (gaz)
2-bütin	$H_3C - C \equiv C - CH_3$	–32	27	0,691

Alkinlerin en basit üyesi asetilen (etin) birçok organik bileşiğin üretilmesinde başlangıç maddesi olarak kullanıldığı için endüstride önemli bir bileşiktir. Endüstride asetilen; kireç taşı, kömür ve su kullanılarak birkaç aşamadan oluşan işlemler sonucunda elde edilir. Kireç taşından elde edilen sönmemiş kireç (CaO), yüksek sıcaklıklarda kömür ile tepkimeye sokulduğunda karpit (CaC_2) elde edilir. Karpitin su ile tepkimesi sonucunda asetilen oluşur.

$$\underset{\text{Kireç taşı}}{CaCO_3(k)} \xrightarrow{900°C} \underset{\text{Sönmemiş kireç}}{CaO(k)} + CO_2(g)$$

$$CaO(k) + \underset{\text{Kömür}}{3C} \xrightarrow{2000°C} \underset{\text{Karpit}}{CaC_2} + CO$$

$$CaC_2 + 2H_2O(s) \rightarrow \underset{\text{Asetilen}}{HC\equiv CH} + Ca(OH)_2$$

Asetilen, yandığında çok yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 3000 °C) alevler elde edildiği için metallerin kesilmesinde kullanılmaktadır (Görsel 3.6). Aşağıdaki tepkimede asetilenin yanma entalpisinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

$$2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(g)$$
$$\Delta H° = -2599,2 \text{ kJ/mol}$$



Görsel 3.6: *Bir işçinin asetilen kaynağı ile metali kesmesi*

Asetilen, kararsız bir yapıda olduğu için uygun bir katalizörle ya da basınç altında şiddetli bir patlamayla yapısal bozunmaya uğrayarak elementlerine ayrışır. Asetilenin güvenli bir şekilde taşınması için düşük basınçta, aseton gibi organik bir çözücüde çözünmesi gerekir.

Asetilen doymamış hidrokarbon olduğu için (pi bağları içerdiğinden) katılma tepkimesi verir. Asetilene H_2 katılmasıyla endüstride önemli kullanım alanlarına sahip etilen üretimi gerçekleştirir.

$$C_2H_2(g) + H_2(g) \xrightarrow{Pd} \underset{\text{Etilen}}{C_2H_4(g)}$$

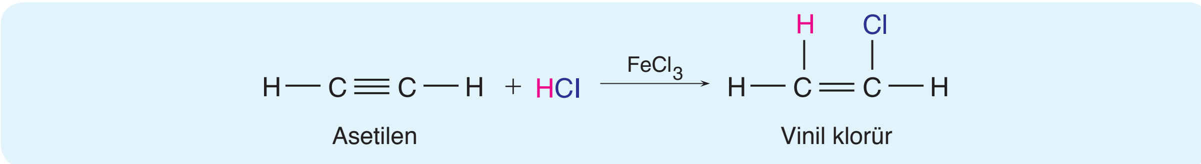
Asetilene, hidrojen halojenür (HX) ve halojen (X_2) katılması da mümkündür.

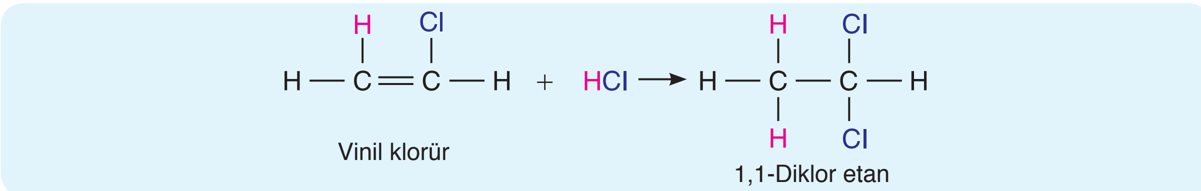
$$C_2H_2(g) + HX(g) \xrightarrow{FeCl_3} CH_2 = CHX(g) \qquad CH_2 = CHX(g) + HX(g) \xrightarrow{FeCl_3} CH_3CHX_2(g)$$

$$C_2H_2(g) + X_2(g) \xrightarrow{FeCl_3} CHX = CHX(g) \qquad CHX = CHX(g) + X_2(g) \xrightarrow{FeCl_3} CHX_2CHX_2(g)$$

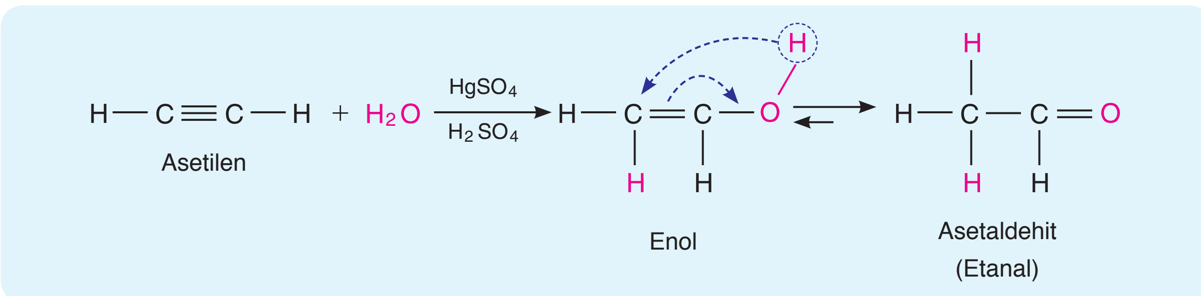
$$C_2H_2(g) + 2X_2(g) \xrightarrow{FeCl_3} CHX_2 - CHX_2(g)$$

Asetilene $FeCl_3$ katalizörlüğünde HCl katıldığında vinil klorür elde edilir. Tepkimenin ikinci adımında 1,1-diklor etan elde edilir.

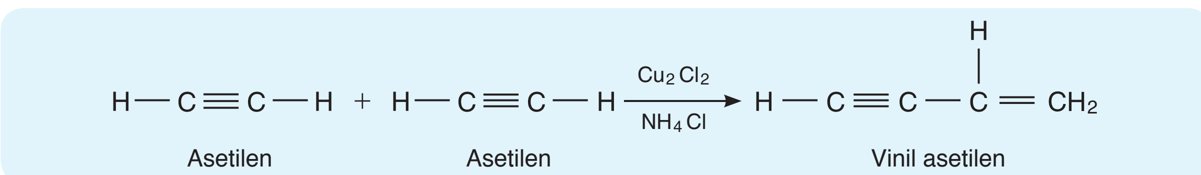




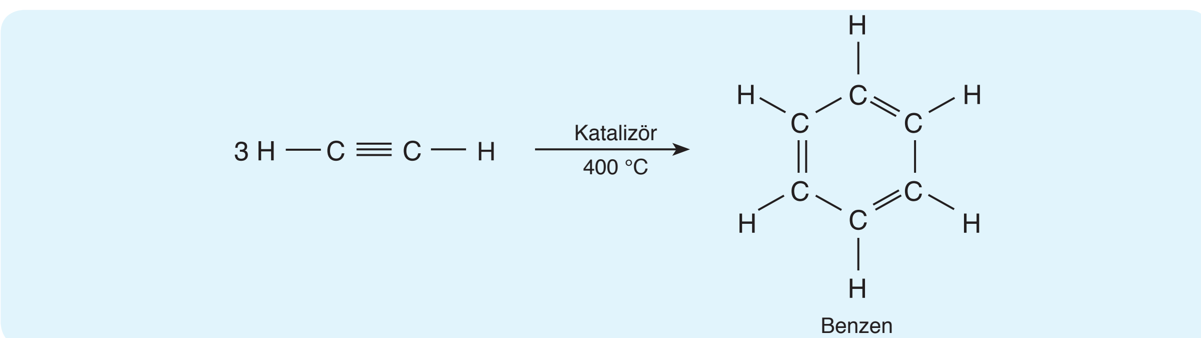
Asetilene $HgSO_4$ katalizörlüğünde asidik ortamda su katılmasıyla asetaldehit (etanal) elde edilir.



Asetilen molekülü başka bir asetilen molekülü ile katılma tepkimesi (dimerleşme) verebilir. Elde edilen ürün, vinil asetilendir. Vinil asetilen, yapay kauçuk üretiminde kullanılan önemli bir maddedir.



Asetilen molekülleri, uygun katalizörler kullanıldığında yaklaşık 400 °C'ta kendi aralarında tepkimeye girerek benzen molekülünü oluşturur.



Yapısındaki üçlü bağ karbon ana zincirinde 1 ve 2 numaralı karbonlar arasında olan alkinlere **uç alkin**, diğer karbonlar arasında olan alkinlere ise **iç alkin** denir. Asetilen, uç alkindir ve asidik karakterde hidrojen atomları içerir. Hidrojen atomları, karbon-karbon üçlü bağındaki karbon atomlarından hidrojen

iyonları (H^+) şeklinde kolayca ayrılabildiği için asidik karakterdedir. Hidrojen atomlarının asidik karakteri, üçlü bağ içeren karbon atomlarına bağlı olduğu zaman geçerlidir. Örneğin 2-bütin $(CH_3-C\equiv C-CH_3)$ bileşiğinde üçlü bağda karbon atomlarına bağlı hidrojen atomu olmadığı için 2-bütin bileşiği iç alkindir ve asidik karakterde hidrojen atomu içermez. Uç alkinlerde asidik karakterdeki hidrojen atomları, metallerle yer değiştirme tepkimesi verir ve metal asetilenürleri oluşturur. Alkenler, asidik karakterde hidrojen atomu içermediği için metallerle yer değiştirme tepkimesi vermez.

Asetilen, amonyaklı bakır (I) klorür çözeltisi ile tepkimeye girdiğinde bakır metali hidrojen atomları ile yer değiştirerek kırmızı renkli bir çökelek oluşturur.

$$\underset{\text{Asetilen}}{H-C\equiv C-H} + 2NH_3 + 2CuCl \longrightarrow \underset{\substack{\text{Bakır asetilenür}\\ \text{(kırmızı çökelek)}}}{Cu-C\equiv C-Cu} + 2NH_4Cl$$

Asetilen, amonyaklı gümüş nitrat çözeltisi ile tepkimeye girdiğinde ise gümüş metali, hidrojen atomları ile yer değiştirerek beyaz renkli bir çökelek oluşturur.

$$\underset{\text{Asetilen}}{H-C\equiv C-H} + 2NH_3 + 2AgNO_3 \longrightarrow \underset{\substack{\text{Gümüş asetilenür}\\ \text{(beyaz çökelek)}}}{Ag-C\equiv C-Ag} + 2NH_4NO_3$$

Asetilenin ağır metal tuzları (bakır asetilenür, gümüş asetilenür gibi) asetilenin birincil patlayıcı tuzları olarak ifade edilir. Bu tuzlar kuru hâlde iken ufak bir sarsıntıda bile şiddetli şekilde patlayabilir.

3.1.5. Aromatik Bileşikler

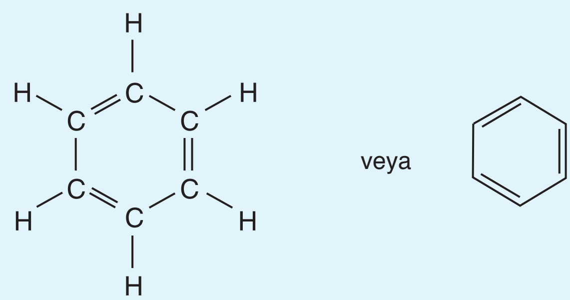
Hidrokarbonların, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar (arenler) olmak üzere iki grupta incelendiğini daha önce belirtmiştik. Aromatik bileşiklerin ilk keşfedildiği dönemde "aromatik" kavramı "güzel kokulu" anlamına gelmekteydi (Görsel 3.7). Ancak günümüzde "aromatik" kavramı sadece güzel kokulu bileşikler anlamında değil belirli ve ayırt edici bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bileşikler anlamında kullanılmaktadır. Aromatik bileşiklerin temel fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen ise benzen halkasıdır. Öyleyse benzen halkasının yapısını bilmek, aromatik bileşikleri tanımamızı kolaylaştıracaktır.



Görsel 3.7: *Rezene bitkisi, yapısında aromatik bileşikler içeren, pişirme esnasında hoş kokular yayan bir bitkidir.*

Benzen, ilk defa İngiliz kimyacı Michael Faraday tarafından 1825 yılında bulunmuştur. Alman kimyacı Eilhardt Mitscherlich (Ayhart Mitşerlih) 1834'te benzenin molekül formülünün C_6H_6 olduğunu göstermiştir. Benzenin molekül formülü (C_6H_6) bilim insanlarını şaşırtmıştır. Çünkü o güne kadar bilinen organik bileşiklerin çoğunda hidrojen atomlarının karbon atomlarına oranı iki kat veya daha fazlaydı. Bu durum, benzen ve türevlerini içeren aromatik bileşik sınıfının oluşmasını sağlamıştır.

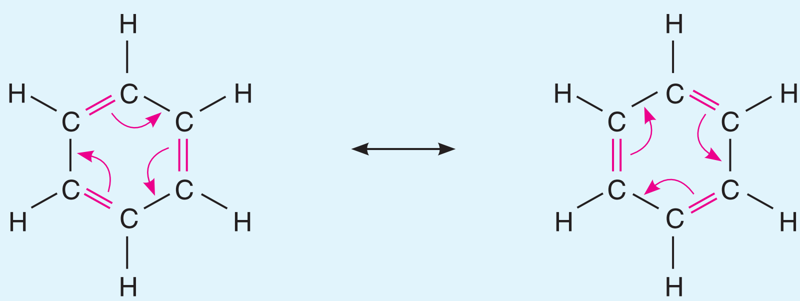
Benzenin ilk molekül yapısı ise 1865 yılında August Kekulé (Ogüst Kekule) tarafından önerilmiştir. Bu yapı, benzen halkasında karbon atomları arasında tekli ve ikili bağların ardışık yer aldığı ve her bir karbon atomuna bir hidrojen atomunun bağlı olduğu bir yapıdır.



Kekulé tarafından ileri sürülen yapı

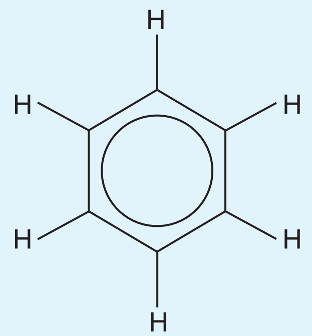
Günümüzde yapılan çalışmalara göre Kekulé'nin önerdiği yapı, benzenin yapısını açıklamada yetersiz kalmıştır. İkili bağların yer değiştirmesiyle oluşan formüle **rezonans sınır formülü** denir.

Benzen halkasında ikili bağlar yer değiştirebilmektedir. Bu durumda, benzen halkasının yapısı için iki tane rezonans sınır formülü kullanılabilir.

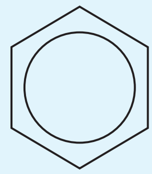


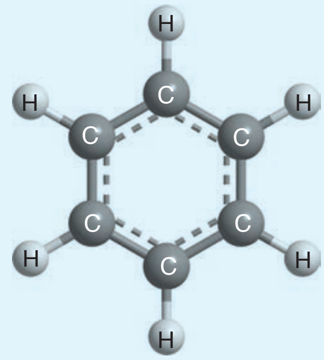
Benzen halkasının rezonans sınır formülleri

Benzen halkasının bu iki rezonans sınır formülünü ayrı ayrı göstermek yerine her iki rezonans sınır formülünü de temsil eden yapılar kullanmak mümkündür.



ya da





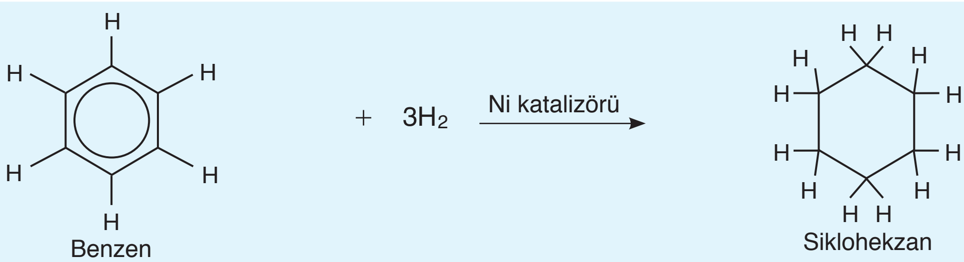
C_6H_6
Benzen
Top-çubuk modeli ile gösterimi

Bazı Aromatik Bileşiklerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

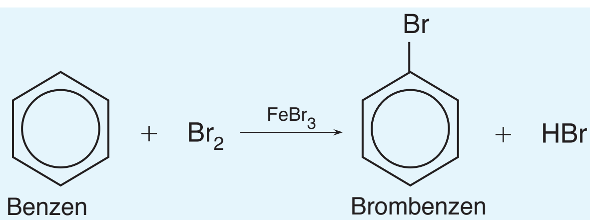
Benzen; petrol ve kömürden elde edilen, renksiz, yanıcı ve kanserojen bir sıvıdır (Görsel 3.8). Oldukça doymamış bir yapıdadır. Doymamış bileşikler gibi tepkimeye girmesi beklense de benzen kararlı bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni, benzenin rezonans sınır formüllerinde de gösterildiği gibi ikili bağlardaki elektronlarının, benzendeki bütün karbon atomlarına ait olmasıdır. Bu kararlı yapıdan dolayı benzen, katılma tepkimesi vermez. Ancak nikel katalizörlüğünde, yüksek sıcaklık ve basınçta hidrojen (H_2) katılması tepkimesini verebilir. Bu tepkime, çok yüksek sıcaklık ve basınçta olmasına rağmen benzenin kararlı yapısından dolayı çok yavaş gerçekleşir.



Görsel 3.8: *Stok şişesinde benzen*

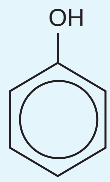


Benzenin en önemli tepkimesi yer değiştirme tepkimesidir. Benzen, bromla (Br_2) katılma tepkimesi değil yer değiştirme tepkimesi verir.



Benzenin önemli kullanım alanlarından biri, polimer endüstrisidir. Polistiren üretiminde başlangıç maddesi olan stirenin elde edilmesinde ve naylon üretimindeki bileşenlerin yapısında benzen kullanılır. Benzen; deterjan üretiminde, fenol ve anilin gibi önemli bileşiklerin üretiminde, böcek ilacı yapımında kullanılır.

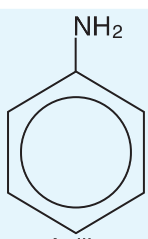
Benzenden elde edilen önemli bileşiklerden biri de fenoldür. Fenolün fonksiyonel grubu, benzen halkasına doğrudan bağlanan hidroksildir $(-OH)$.



Fenol (Hidroksibenzen)

Fenol (alkollere benzemekle birlikte), karboksilik asitlerden daha zayıf asidik özelliktedir. Fenol, ilk zamanlar karbonik asit olarak adlandırılmıştır. Erime noktası düşük, suda çözünebilen bir maddedir. Yüksek derişimlerde tüm canlı hücreler için zararlıdır. Seyreltik çözeltisi antiseptik özelliğe sahip olduğu için bazı ilaçların yapımında kullanılmıştır. Ancak günümüzde fenolün tıptaki kullanımına, bazı yan etkilerinden dolayı sınırlamalar getirilmiştir. Fenollerin yerine daha güçlü ve yan etkileri daha az olan antiseptik maddeler (hekzilresorkinol gibi) kullanılmaktadır. Ayrıca fenol, bazı gıdalarda antioksidan madde olarak da kullanılmaktadır.

Benzen halkası içeren başka bir bileşik, anilindir. Anilin, benzen halkasına amino $(-NH_2)$ grubunun bağlanması ile elde edilir. Zayıf baz özellik gösteren anilin, aminobenzen olarak da adlandırılır. Renksiz, kokulu bir sıvı olan anilin, özellikle boya üretiminde kullanılır. Deri boyamacılığında, fotoğrafçılıkta, matbaacılıkta kullanılan anilinden üretilmiş bu tür boyalar, anilin boyalar olarak adlandırılır. Görsel 3.9'daki toz hâline getirilmiş mavi renkli indigo boyasının üretiminde kullanılan başlangıç maddesi de anilindir.

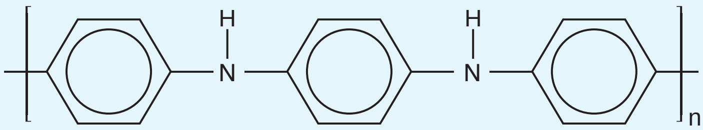


Anilin
(Aminobenzen)



Görsel 3.9: *Toz hâlindeki indigo boyası*

Anilinin asidik ortamda yükseltgenmesiyle polianilin elde edilir. Kolay işlenebilirliği, yüksek dayanıklılığı, düşük maliyetli bir malzeme olması ve yüksek iletkenlik kontrolüne sahip olması gibi özelliklerinden dolayı polianilin, önemli bir yarı iletken polimerdir.



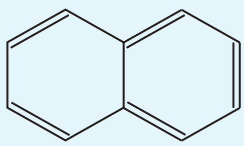
Polianilin

Naftalin ($C_{10}H_8$), bitişik iki benzen halkası içeren önemli bir aromatik bileşiktir. Beyaz pulcuklar hâlinde bir maddedir. Tablet haline getirilmiş naftalin oda koşullarında katı hâldedir (Görsel 3.10).

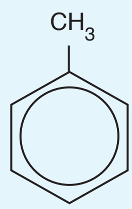
Suda çözünmeyen naftalin, oda koşullarında katı hâlden (sıvı hâle geçmeden) doğrudan gaz hâle geçebilmektedir (süblimleşme). Kolaylıkla buharlaşabildiği için böceklerle mücadelede, özellikle güveleri yünlü kumaşlardan uzaklaştırmada kullanılır. Ayrıca lavabolarda koku giderici madde olarak da kullanılmaktadır. Ancak insan sağlığına zararlı olduğu saptanan naftalin, kırmızı alyuvarlara zarar verir ya da alyuvarların parçalanmasına neden olur. Kanserojen etkileri nedeniyle naftalinin 2008 yılından itibaren Avrupa'da kullanımı yasaklanmıştır.



Görsel 3.10: *Katı hâldeki naftalin*



$C_{10}H_8$
Naftalin



Toluen
(Metilbenzen)

Sanayide yakıt ve boya ham maddesi olarak kullanılan naftalin, eczacılık ve parfümeride bazı bileşiklerin üretilmesinde ara madde olarak kullanılmaktadır.

Toluen, karakteristik bir kokuya sahip, renksiz ve suda çözünmeyen bir sıvıdır. Fenil grubuna (C_6H_5) metil ($-CH_3$) bağlanmasıyla elde edilen aromatik bir hidrokarbondur. Benzen ve ksilen eldesinde, boyalarda inceltici olarak, dezenfektanlarda ve ayrıca patlayıcı yapımında (TNT, trinitro toluen) kullanılır.

3.2. FONKSİYONEL GRUPLAR

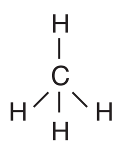
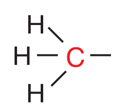
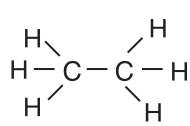
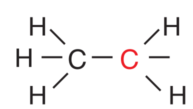
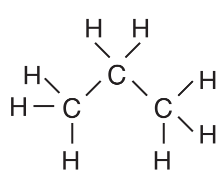
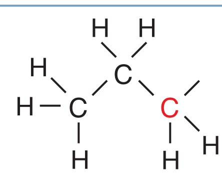
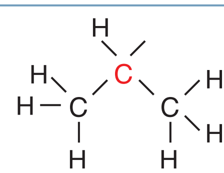
Organik bileşiklerin sayısının çok olması ve yenilerinin sentezlenmesi, organik bileşiklerin özelliklerinin incelenmesini zorlaştırmaktadır. Organik bileşiklerin sistematik bir yaklaşımla sınıflandırılması bilim insanlarının işlerini kolaylaştıracaktır. Bu nedenle organik bileşikler belirli özelliklerine göre sınıflandırılmış ve adlandırılmıştır.

Organik bileşiklerin sınıflandırılmasında bu bileşiklerin fonksiyonel yapıları dikkate alınır. Organik bileşiklerin kimyasal tepkimelere girme eğilimlerini ve bazı fiziksel özelliklerini belirleyen bu fonksiyonel yapılara **fonksiyonel gruplar** denir. Alkenlerde fonksiyonel grup, karbon atomları arasındaki ikili bağdır. Alkinlerde fonksiyonel grup, karbon atomları arasındaki üçlü bağ; alkollerde ise hidroksil (–OH) grubudur. Organik bileşiklerin özelliklerini tanımlayan bu grupları yakından inceleyelim.

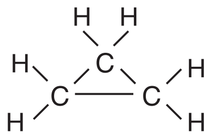
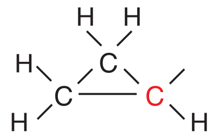
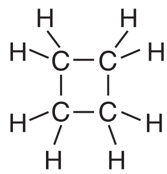
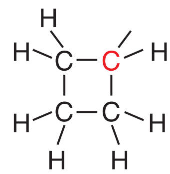
3.2.1. Alkil, Alkenil, Alkinil ve Aril Grupları

Yeni ve farklı organik bileşiklerin sentezlenmesinde hidrokarbonlardan türetilen gruplar önemli rol oynar. Bu gruplardan en önemlisi alkanlardan 1 hidrojen atomu çıkarılmasıyla oluşur ve **alkil** olarak adlandırılır. Alkillerin adlandırılmasında alkanların son eki olan "–an" yerine "-il" eki getirilir. Örneğin met**an** (CH_4) molekülünden türetilen alkil, met**il** ($-CH_3$) olarak adlandırılır. Halkalı yapıdaki alkanlardan türetilen alkil gruplarının adlandırılması da benzer şekilde yapılır. Örneğin **siklo**prop**an**dan türetilen alkil, **siklo**prop**il** olarak adlandırılır. Alkil grupları kararsız radikal yapılardır. Bu nedenle alkil grularının tepkimeye girme istekleri oldukça yüksektir. Alkil grupları radikal özellik gösterdiği için **–R** ya da **· R** şeklinde gösterilir. Bazı alkil gruplarının adları, molekül ve yapı formülleri Tablo 3.20.a ve b'de verilmiştir.

Tablo 3.20.a: *Bazı alkanlardan türetilen alkil gruplarının adları, molekül ve yapı formülleri*

Alkan	Molekül Formülü	Yapı Formülü	Alkil	Formülü	Yapı Formülü
Metan	CH_4		Metil	$-CH_3$	
Etan	C_2H_6		Etil	$-C_2H_5$	
Propan	C_3H_8		Propil	$-C_3H_7$	
			İzopropil	$-C_3H_7$	

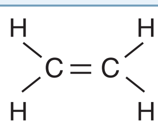
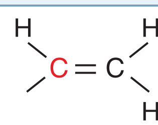
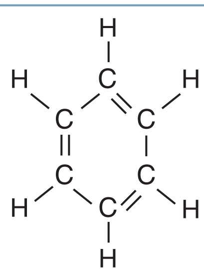
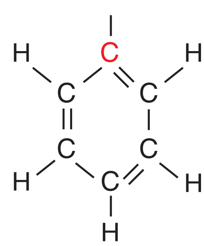
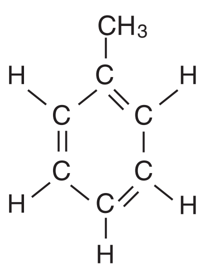
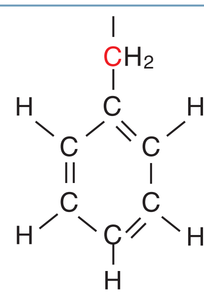
Tablo 3.20.b: *Halkalı yapıdaki bazı alkanlardan türetilen alkil gruplarının adları, molekül ve yapı formülleri*

Alkan	Molekül Formülü	Yapı Formülü	Alkil	Formülü	Yapı Formülü
Siklopropan	C_3H_6		Siklopropil	$-C_3H_5$	
Siklobütan	C_4H_8		Siklobütil	$-C_4H_7$	

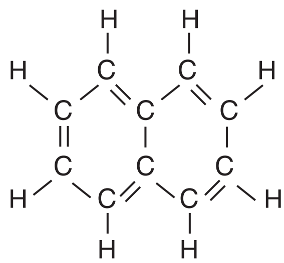
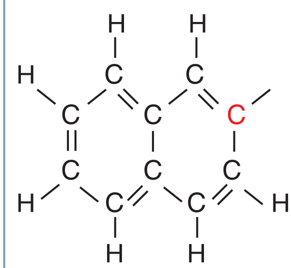
Tablo 3.20.a incelendiğinde propandan 1 hidrojen atomu koparılarak türetilen 2 farklı alkil olduğu görülecektir. Alkandaki karbon sayısı arttıkça aynı alkandan çok sayıda, farklı alkil grubu türetmek mümkündür. Bu durum, ilerleyen bölümlerde izomerlik konusunda ayrıntılı ele alınacaktır.

Doymamış hidrokarbonlardan 1 hidrojen koparılarak farklı yapılar türetilebilir. Alkenlerden 1 hidrojen koparılarak **alkenil**, alkinlerden 1 hidrojen koparılarak **alkinil** grupları türetilebilir. Aromatik hidrokarbonlardan (arenler) 1 hidrojen koparıldığında **aril grupları** elde edilir. Tablo 3.21.a ve b'deki alken, alkin ve arenlerden 1 hidrojen atomu koparılmasıyla elde edilen yapıların adlarını, molekül ve yapı formüllerini inceleyiniz.

Tablo 3.21.a: *Alken, alkin ve arenlerden 1 hidrojen koparılmasıyla elde edilen grupların adları, molekül ve yapı formülleri*

Grup	Molekül Formülü	Yapı Formülü	Alkil		Formülü	Yapı Formülü
Alken	C_2H_4 (Eten)		Etenil (Vinil)		$-C_2H_3$	
Alkin	C_2H_2 (Etin)	$H-C\equiv C-H$	Etinil		$-C_2H$	$H-C\equiv C-$
Aren	C_6H_6 (Benzen)		Aril	Fenil	$-C_6H_5$	
	C_7H_8 (Toluen)			Benzil	$-C_7H_7$	

Tablo 3.21.b: *Naftalinden 1 hidrojen koparılmasıyla elde edilen grubun adı, molekül ve yapı formülü*

Grup	Molekül Formülü	Yapı Formülü	Alkil		Formülü	Yapı Fomülü
Aren	$C_{10}H_8$ (Naftalin)		Aril	Naftil	$-C_{10}H_7$	

3.2.2. Organik Bileşiklerde Fonksiyonel Gruplar ve Adlandırılması

Hidrokarbonlardan 1 hidrojen koparılarak türetilen, yukarıdaki tablolarda adlandırılması yapılan ve molekül yapısı gösterilen yapılar, farklı organik bileşiklerin türetilmesinde başlangıç maddesi olarak kullanılabilmektedir. Örneğin alkil grubuna 1 hidrojen bağlanmasıyla ya da bir alkil grubunun başka bir alkil grubuna bağlanması ile alkanlar elde edilebilir.

$H + -R \rightarrow \underbrace{H-R}_{\text{Alkan}}$ $\qquad$ $R- + -R \rightarrow \underbrace{R-R}_{\text{Alkan}}$

$H + -CH_3 \rightarrow \underbrace{CH_4}_{\text{Metan}}$ $\qquad$ $-CH_3 + -CH_3 \rightarrow \underbrace{CH_3-CH_3}_{\text{Etan}}$

Bir alkil grubuna halojen bağlanırsa elde edilen yapıya **alkil halojenür** ya da **haloalkan** denir. Halojenler **–X** ile gösterilir. IUPAC adlandırılmasında, alkil grubundaki karbon sayısına göre adlandırma yapılır. Yaygın adlandırmada ise alkil grubuna göre adlandırma yapılır.

$$X + -R \rightarrow \underbrace{R-X}_{\text{Alkan}}$$

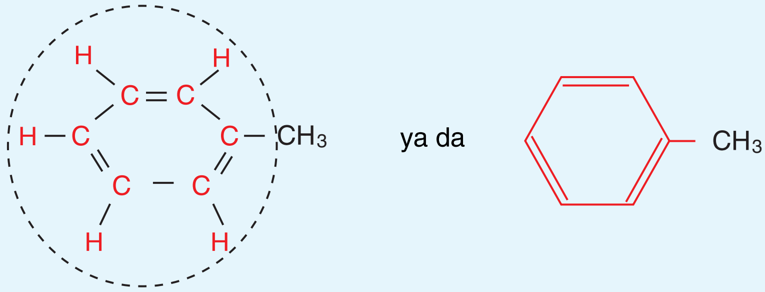
$$Cl + -CH_3 \rightarrow \underbrace{CH_3Cl}$$

Klorometan (IUPAC adı)
Metilklorür (Yaygın adı)

Alkil halojenürlerin kimyasal ve fiziksel özelliğini belirleyen fonksiyonel grup halojenlerdir.

Arenler, aromatik hidrokarbonlardır ve fenil grubu $(-C_6H_5)$ içerir. Çoğunlukla alkil grubuna bir fenil grubu bağlandığında elde edilen moleküllerdir. Bu tür moleküllerde fonksiyonel grup, fenil grubudur $(-C_6H_5)$.

Fenil grubu

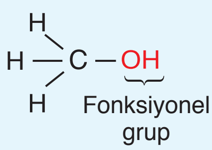


Alkoller olarak bilinen organik bileşiklerde sp^3 hibritleşmesi yapmış bir karbon atomuna (alkil grubuna, –R) hidroksil (–OH) grubu bağlıdır. Metil alkol (CH_3OH) alkollerin en basit üyesidir. Bir diğer alkol örneği etil alkoldür (C_2H_5OH). Alkollerin IUPAC adlandırılmasında aynı karbon sayısına karşılık gelen alkanların sonuna **–ol** son eki getirilir. Yaygın adlandırmada alkil grubunun adı söylendikten sonra **alkol** son eki getirilir.

CH_3OH

IUPAC adı: Metan**ol**

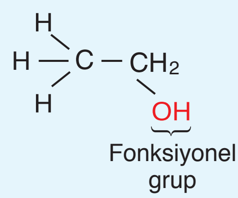
Yaygın adı: Metil alkol



C_2H_5OH

IUPAC adı: Etan**ol**

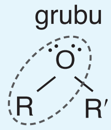
Yaygın adı: Etil alkol



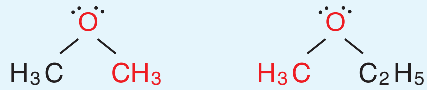
Her iki bileşikte de görüldüğü gibi alkollerin kimyasal ve fiziksel özelliğini belirleyen fonksiyonel grup hidroksildir (–OH).

Eterler, R – O – R ya da R – O – R′ genel formülüne sahiptir. R′ bir alkil ya da fenil grubu olabilir. R′ ve R birbirinden farklı alkil grupları olabildiği gibi aynı alkil grupları da olabilir. R – O – grubu, **alkoksi** grubudur. Eterler, bir alkil grubuna bir alkoksi grubu bağlanması ile oluşur.

Alkoksi grubu

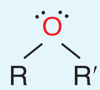


IUPAC adlandırılması, karbon sayısı fazla alkil grubuna bir alkoksi grubu bağlanmış gibi düşünülür ve adlandırma yapılır. Yaygın adlandırılmada da ise oksijen atomuna bağlı grupların isimleri, alfabetik sıraya göre söylenir.

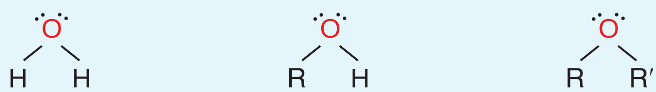


IUPAC adı:	Metoksimetan	Metoksietan
Yaygın adı:	Dimetil eter	Etil metil eter

Bir eter molekülünde fonksiyonel grup, grupların bağlı olduğu oksijen atomudur. Dikkat ederseniz oksijen atomunda ortaklanmamış elektron çiftleri bulunur ki bu elektronlar, eter molekülünün kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirler.

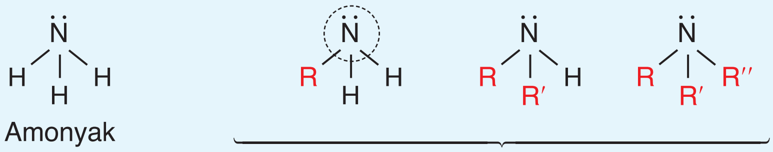


Alkol ve eterleri, su molekülünün organik türevleri olarak da düşünebiliriz.

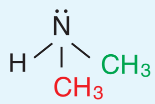
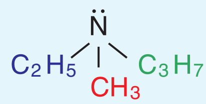
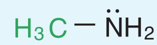


Su Alkol Eter

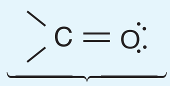
Aminler, amonyağın organik türevi olarak ifade edilebilir (alkol ve eterlerin suyun organik türevleri olduğu gibi). Aminlerin genel formülleri $R-NH_2$dir. Bir alkil grubuna $(-R)$, bir amino grubu $(-NH_2)$ bağlanması ile aminler elde edilir. Amino grubunda azot atomundaki hidrojen atomları yerine alkil grupları da bağlanabilir. Aminlerde fonksiyonel grup, ortaklanmamış elektron çifti içeren azot atomudur.



IUPAC adlandırması, bir alkil grubuna, bir amino grubu bağlanmış gibi düşünülür ve alkanlar üzerinden adlandırma yapılır. Azot atomuna birden fazla alkil bağlı ise karbon sayısı fazla olan alkile karşılık gelen alkana göre adlandırma yapılır. Diğer alkil grupları, azot atomuna bağlı olduğu için başına ***N–*** ön eki getirilerek alfabetik sıraya göre söylenir. Aminlerin yaygın adlandırılmasında ise azot atomuna bağlı organik gruplar alfabetik sıraya göre söylenir (Aralarında boşluk bırakmadan yazılır.). Bunun için aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.

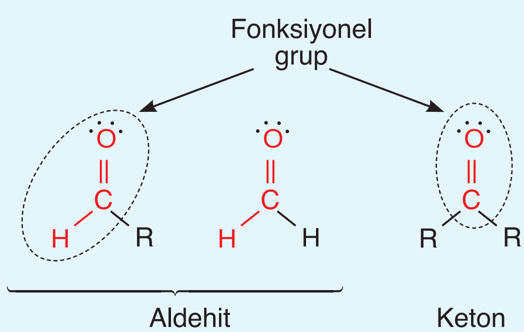
			
IUPAC adı:	*N*– Metilmetanamin	*N*–Etil–*N*–metilpropanamin	Metanamin
Yaygın adı:	Dimetilamin	Etilmetilpropilamin	Metilamin

Aldehitler ve **ketonlar,** karbonil grubu içeren bileşiklerdir. Karbonil grubunda bir karbon atomu, bir oksijen atomuna ikili bağ ile bağlanmıştır.

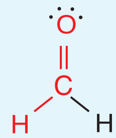
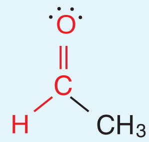
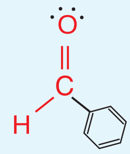


Karbonil grubu

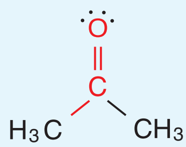
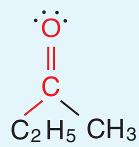
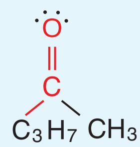
Aldehitlerde karbonil grubu en az bir hidrojen atomuna, **ketonlarda** ise iki karbon atomuna bağlıdır. Aldehitlerde fonksiyonel grup, hidrojen atomu bağlı karbonil grubu iken ketonlarda fonksiyonel grup, karbonil grubudur.



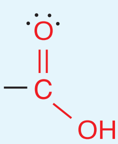
Aldehitlerin IUPAC adlandırılması yapılırken aynı karbon sayılı alkanın sonuna **–al** son eki getirilir. Yaygın adlandırmada ise özel adın sonuna **–aldehit** son eki getirilir.

			
IUPAC adı:	Metanal	Etanal	Benzenal
Yaygın adı:	Formaldehit	Asetaldehit	Benzaldehit

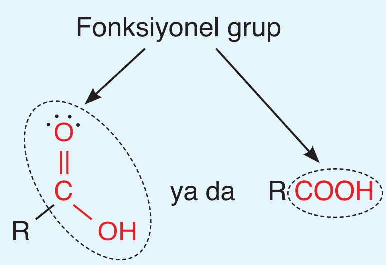
Ketonların IUPAC adlandırılmasında, karbonil grubunun yer aldığı en uzun karbon zincirindeki karbon sayısına karşılık gelen alkanın sonuna **–on** son eki getirilir. Karbonil grubuna en küçük sayı gelecek şekilde karbon atomları numaralandırıldığında karbonil grubundaki karbon atomunun numarası belirtilir. Ketonların yaygın adlandırılmasında, karbonil grubuna bağlı gruplar alfabetik sıraya göre söylenir.

			
IUPAC adı:	Propanon	Bütanon	2–Pentanon
Yaygın adı:	Aseton	Etil metil keton	Metil propil keton

Karboksilik asitler, karboksil grubu (–COOH) içeren bileşiklerdir. Genel formülleri RCOOH şeklindedir. R grubu, hidrojen atomu olabilir. Karboksilik asitlerin fonksiyonel grubu, karboksil grubudur.

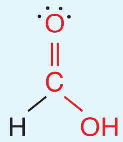
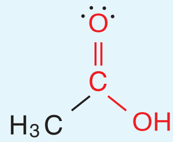
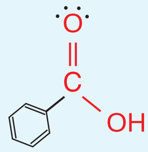

ya da –COOH

Karboksil grubu

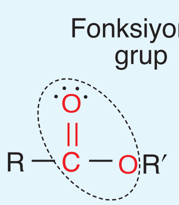


Karboksilik asit

Karboksilik asitlerin IUPAC adlandırılmasında, karboksil grubunun yer aldığı en uzun karbon zincirindeki karbon sayısına karşılık gelen alkanın sonuna **-oik asit** son eki getirilir. Yaygın adlandırma için formik asit, asetik asit ve benzoik asit, karboksilik asitler örnek verilebilir. Aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.

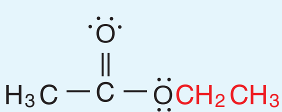
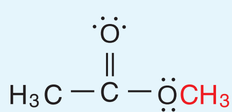
			
	$HCOOH$	CH_3COOH	C_6H_5COOH
	HCO_2H	CH_3CO_2H	$C_6H_5CO_2H$
IUPAC adı:	Metanoik asit	Etanoik asit	Benzenoik asit
Yaygın adı:	Formik asit	Asetik asit	Benzoik asit

Esterler, RCO_2R' ya da $RCOOR'$ genel formülündeki bileşiklerdir. Esterlerde fonksiyonel grup, $-CO_2$ ya da $-COO$ grubudur.



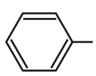
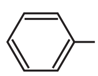
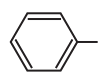
ya da RCO_2R' ya da $RCOOR'$

Esterlerin IUPAC adlandırılmasında, oksijen atomuna bağlı alkilin adı belirtilir ve "–COO" grubunun yer aldığı en uzun karbon zincirindeki karbon sayısına karşılık gelen alkanın sonuna –**oat** son eki getirilir. Yaygın adlandırma için etil asetat ve metil asetat örnek verilebilir. Aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.

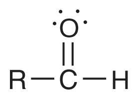
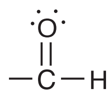
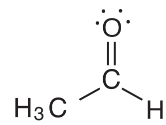
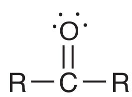
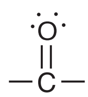
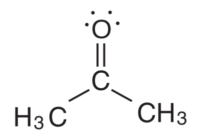
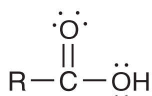
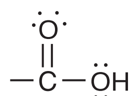
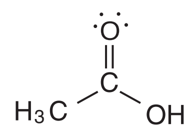
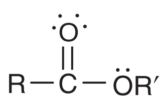
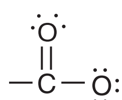
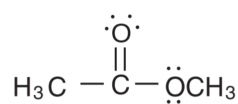
		
	$CH_3CO_2CH_2CH_3$	$CH_3CO_2CH_3$
	$CH_3COOCH_2CH_3$	CH_3COOCH_3
IUPAC adı:	Etiletan**oat**	Metiletan**oat**
Yaygın adı:	Etil asetat	Metil asetat

Genel bir tanıtımı yapılan fonksiyonel gruplar Tablo 3.22.a ve b'de gösterilmektedir.

Tablo 3.22.a: *Yaygın fonksiyonel grupların adları ve formülleri*

Organik Bileşik Sınıfı	Genel Formülü	Fonksiyonel Grubu	Örnek IUPAC Adlandırma (IA) Yaygın Adlandırma (YA)
Alkan	$H-R$ $R-R$	–	H_3C-CH_3 IA: Etan
Alken	$RCH=CH_2$ $RCH=CHR$ $R_2C=CHR$ $R_2C=CR_2$	$>C=C<$	$H_2C=CH_2$ IA: Eten YA: Etilen
Alkin	$RC\equiv CH$ $RC\equiv CR$	$-C\equiv C-$	$HC\equiv HC$ IA: Etin YA: Asetilen
Aren	 R		 CH_3 IA: Metil benzen YA: Toluen
Alkil halojenür (Haloalkan)	R–X	–X	CH_3Cl IA: Klorometan YA: Metil klorür
Alkol	ROH	–OH	CH_3CH_2OH IA: Etanol YA: Etil alkol

Tablo 3.22.b: *Diğer fonksiyonel grupların adları ve formülleri*

Organik Bileşik Sınıfı	Genel Formülü	Fonksiyonel Grubu	Örnek IUPAC Adlandırma (IA) Yaygın Adlandırma (YA)
Eter	ROR		CH_3OCH_3 IA: Metoksimetan YA: Dimetil eter
Amin	RNH_2		$H_3C-\ddot{N}H_2$ IA: Aminometan YA: Metilamin
Aldehit			 IA: Etanal YA: Asetaldehit
Keton			 IA: Propanon YA: Aseton (Dimetil keton)
Karboksilik asit			 IA: Etanoik asit YA: Asetik asit
Ester			 IA: Metiletanoat YA: Metil asetat
Nitro	$R-NO_2$	$-NO_2$	H_3C-NO_2 IA: Nitrometan

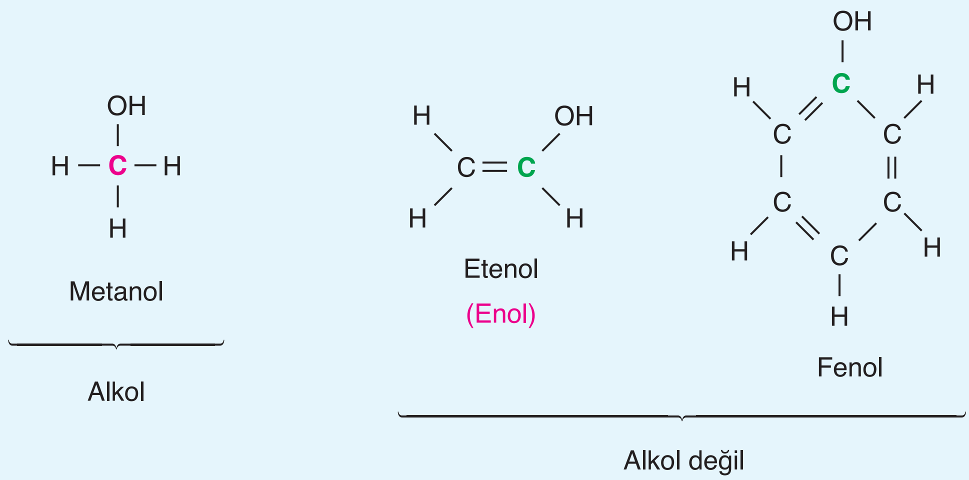
3.3. ALKOLLER

Alkoller; tahıl, üzüm, elma gibi maddelerin doğal yapısında bulunur. Görsel 3.11'de üzümlerin alkol üretimi için hazırlanması görülmektedir. Alkoller, organik kimya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Alkenler, alkil halojenürler, aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler ve esterler gibi diğer organik bileşikler alkollerden elde edilebilmekte, aynı zamanda bu bileşikler alkollere dönüştürülebilmektedir. Alkoller, bu özelliklerinden dolayı organik bileşiklerin birbirine dönüştürülmesinde kullanılan önemli bileşiklerdir.



Görsel 3.11: *Toplanan üzümlerin alkol üretimine hazırlanması*

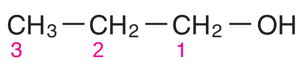
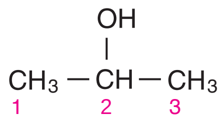
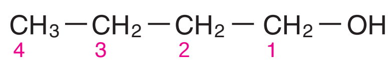
Alkoller, doymuş bir karbon atomuna (sp^3 hibritleşmesi yapan) bağlı hidroksil (–OH) içeren organik bileşiklerdir. İkili bağa sahip C atomuna (doymamış C atomu) bağlı hidroksil (–OH) içeren organik bileşikler alkol olarak sınıflandırılamaz.

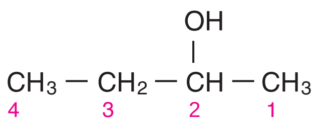
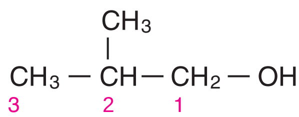
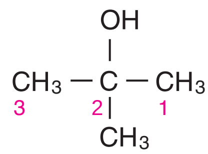


C: Doymuş karbon atomu (sp^3 hibritleşmesi yapmış.)

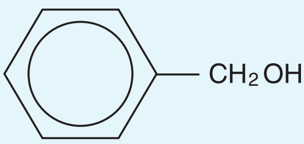
C: Doymamış karbon atomu (sp^2 hibritleşmesi yapmış.)

Alkollerin temel fonksiyonel grubu hidroksil (–OH) olduğu için IUPAC adlandırılmasında hidroksilin yer aldığı en uzun karbon zinciri seçilir. Ana zincir, hidroksile en küçük sayı gelecek şekilde numaralandırılır. Önceki bölümlerde ele alınan IUPAC kuralları burada da geçerlidir. Alkollerin yaygın adlandırılmasında ise alkil grupları kullanılır. Alkollerin IUPAC ve yaygın adlandırılmalarına ilişkin verilen örnekleri inceleyiniz.

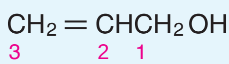
			
IUPAC adı:	1-Propanol	2-Propanol	1-Bütanol
Yaygın adı:	Propil alkol	İzopropil alkol	Bütil alkol

			
IUPAC adı:	2-Bütanol	2-Metil-1-propanol	2-Metil-2-propanol
Yaygın adı:	*sec*-Bütil alkol	İzobütil alkol	*ter*-Bütil alkol

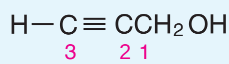
Alkolde, hidroksilin bağlı olduğu karbon atomu, bir alkenil ya da alkinilin doymuş bir karbon atomu da olabilir. Bu karbon atomu, benzen halkasına bağlı bir doymuş karbon atomu da olabilir. Hidroksil, bu tür organik bileşiklerde ikili ve üçlü bağdan önceliklidir. Yani yapısında hidroksil bulunan bir organik bileşikte ikili ya da üçlü bağ varsa öncelik hidroksile verilir. En uzun karbon zinciri seçilirken ve numaralandırılırken hidroksile en küçük numara gelecek şekilde numaralandırma yapılır. Aşağıda verilen örnekleri inceleyiniz.



Benzil alkol



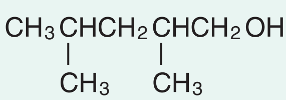
2-Propenol

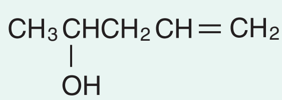


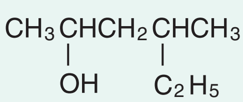
2-Propinol

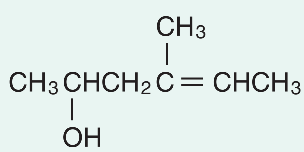
Alıştırma

Aşağıda verilen alkollerin IUPAC adlarını yazınız.

a) 

b) 

c) 

ç) 

Alkollerde hidroksilin bağlı olduğu karbon atomu, α **(alfa) karbon atomu** olarak ifade edilir. Alkoller içerdiği hidroksil sayısına ya da hidroksilin bağlı olduğu karbon atomuna (α karbon atomu) göre iki şekilde sınıflandırılabilir.

Alfa karbonunda bir tane alkil bağlı ise **primer (birincil, 1°) alkol,** iki tane alkil bağlı ise **sekonder (ikincil, 2°) alkol** ve üç tane alkil bağlı ise **tersiyer (üçüncül, 3°) alkol** olarak sınıflandırılır.

α karbon atomu

$CH_3 - CH_2 - OH$

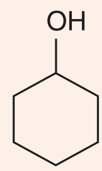
α karbon atomuna bağlı alkil

• Metanol birincil bir alkol olmasına rağmen alfa karbonunda alkil yoktur.

$CH_3CH_2 - OH$	CH_3CHCH_3 (C2'de –OH)	CH_3CCH_3 (C2'de –CH_3 ve –OH)
Etanol	2-Propanol	2-Metil-2-propanol
(Etil alkol)	(İzopropil alkol)	(*ter*-Bütil alkol)
1° alkol	2° alkol	3° alkol

!

Siklohekzanol, benzen halkası içeren fenole benziyormuş gibi görünür. Ancak bu bileşikte karbon atomları arasında ikili bağlar olmadığına dikkat ediniz. Siklohekzanolde hidroksil (–OH), doymuş karbon atomuna bağlı olduğu için bileşik bir alkoldür.



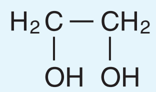
Siklohekzanol ($C_6H_{12}O$)

Alkoller, içerdiği hidroksil sayısına göre monoalkol ve polialkol olarak sınıflandırılır. Yapılarında bir tane hidroksil bulunan alkoller **monoalkol** olarak adlandırılır. Aşağıda verilen monoalkolleri inceleyiniz.

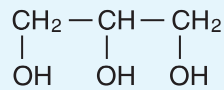
CH_3OH	CH_3CH_2OH	$CH_3CH_2CH_2OH$	CH_3CHCH_3 (C2'de –OH)
Metanol	Etanol	Propanol	2-propanol
(Metil alkol)	(Etil alkol)	(Propil alkol)	(İzopropil alkol)

$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	$CH_3CH_2CHCH_3$ (C3'te –OH)	CH_3CCH_3 (C2'de –CH_3 ve –OH)	CH_3CHCH_2 (CH'de –CH_3, CH_2'de –OH)
1-Bütanol	2-Bütanol	2-Metil-2-propanol	2-Metil-1-propanol
(*n*-Bütanol)	(*sec*-Bütanol)	(*ter*-Bütanol)	(İzobütil alkol)

Yapısında birden fazla hidroksil içeren alkoller **polialkol** olarak adlandırılır. Yapısında iki tane hidroksil varsa **dialkol,** üç tane hidroksil varsa **trialkol** olarak sınıflandırılır. Etandiol, yapısında iki tane hidroksil içerir. Propantriol, üç tane hidroksil içerir ve trialkoldür.



1,2-Etandiol
(Glikol)



1,2,3-Propantriol
(Gliserin)

Bazı polimerlerin üretiminde ham madde olarak kullanılan etandiol, otomobillerde donmayı önleyici madde (antifriz) olarak da kullanılmaktadır. Ancak zehirli bir madde olmasından dolayı günümüzde otomobillerde etandiolün yerine propilen glikol (1, 2-propandiol) kullanılmaktadır.

Gliserin, tatlandırıcı madde olarak gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Ağız bakım suyu, nemlendirici krem (Görsel 3.12) gibi kişisel bakım ürünlerinin, şurupların ve bazı ilaçların yapısında gliserin vardır. Ayrıca gliserin, bazı patlayıcıların üretiminde (nitro gliserin) ham madde olarak önemli bir yere sahiptir.



Görsel 3.12: *Gliserin içeren nemlendirici krem*

Alkollerin en basit üyesi metanoldür. Metanol, önceki yıllarda odunun kuru olarak (havasız ortamda, yüksek sıcaklıklarda) damıtılmasıyla elde edilirdi. Bu nedenle metanol, “odun alkolü” olarak da bilinir. Günümüzde metanol, yüksek sıcaklık ve basınçta karbonmonoksidin (CO), hidrojen gazı (H_2) ile tepkimesinden elde edilir.

$$CO + 2H_2 \xrightarrow[ZnO/Cr_2O_3]{400°C,\ 300\ atm} CH_3OH$$

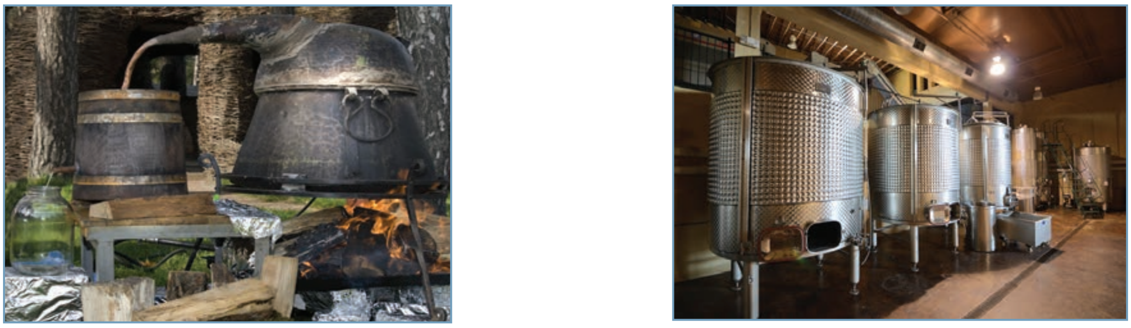
Metanol oldukça zehirli bir maddedir. Az miktarda metanolün yutulması körlüğe, fazla miktarda yutulması (yaklaşık 30 mL) ölüme yol açmaktadır. Metanol zehirlenmesi, buharının uzun süre solunması ya da cildin uzun süre metanole maruz kalması ile de mümkündür.

Metanolü, koku ve görünüm açısından çok benzediği etanolden ayırt etmek çok zordur.

Etanol; şeker kamışı ve mısır gibi bazı bitkilerden elde edilen şekerlerin fermantasyonu sonucu oluşur. Fermantasyon, suyla şekerlerin karışımına maya ilave edilerek yapılır. Mayanın içerdiği enzimler, basit şekeri (glikoz, $C_6H_{12}O_6$) etanol ve karbondiokside dönüştürür.

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{maya}} \underset{\text{Etanol}}{2CH_3CH_2OH} + 2CO_2$$

Fermantasyon sonucunda etanol derişimi %12-15'ten yüksek olduğunda maya enzimleri etkinliklerini kaybettiği için etanol derişimi çok yüksek olmaz. Etanolün derişimini artırmak için sulu çözelti damıtılmalıdır. Alkol üretiminde kullanılan eski ve modern damıtma sistemleri Görsel 3.13'te görülmektedir. Damıtma sonucunda en fazla %95 saflıkta etanol elde edilir. Saf etanol elde etmek için %95 saflıktaki etanol-su karışımı benzen ile karıştırılarak tekrar damıtılır ve %5'lik suyun karışımından uzaklaştırılması sağlanır.



(a) (b)

Görsel 3.13:* *a. *Alkol üretiminde eski bir damıtma düzeneği* ***b.*** *Alkol üretiminde modern damıtma sistemi*

Etanolün önemli kullanım alanlarından biri sağlıktır. Canlıların temas ettikleri yüzeylerde bulunan ve insanlarda hastalık yapma özelliğine sahip mikroorganizmaların yok edilmesinde dezenfektan olarak etanol kullanılır. Bu işleme **dezenfeksiyon** denir. Ayrıca canlı dokulardaki zararlı mikroorganizmaların yok edilmesinde de etanol antiseptik madde (mikroorganizmaları yok edici) olarak kullanılmaktadır. Bu işlemler esnasında kullanıcıya zarar vermemesi, suda kolay çözünmesi etanolün sağlık alanında kullanım avantajları arasında ifade edilebilir. Saf etanol, endüstriyel kullanım açısından önemli bir kimyasal maddedir. Endüstriyel amaçlı kullanılacak etanol; etenin, asidik ortamda su ile katılma tepkimesinden elde edilir.

$$CH_2 = CH_2 + H_2O \xrightarrow{\text{asit}} \underset{\text{Etanol}}{CH_3CH_2OH}$$

Etanol, alkil halojenürlerin sulu sodyum hidroksit çözeltisiyle ısıtılması sonucunda meydana gelen yer değiştirme tepkimesiyle de elde edilebilir.

$$\underset{\substack{\text{1 − kloroetan} \\ \text{(etil klorür)}}}{CH_3 - CH_2Cl} + NaOH(suda) \xrightarrow{\text{ısı}} \underset{\text{Etanol}}{CH_3CH_2OH} + NaCl(suda)$$

Etanolün günümüzde en önemli kullanım alanlarından biri de yakıt olarak kullanımıdır. Yakıt olarak kullanılan etanol, biyolojik kaynaklardan (mısır, buğday, şeker kamışı gibi) mayalanma yoluyla üretildiği için **biyoetanol** olarak adlandırılır. Kimyasal olarak etanol ve biyoetanol aynı moleküldür. Etanol (C_2H_5OH) renksiz, yüksek derecede yanıcı, su ve benzinle çok iyi bir şekilde karışabilen bir sıvı yakıttır. Etanolün yakıt olarak kullanımı eskiye dayanır. Ulaştırma sektöründe 1800'lü yılların sonunda Henry Ford (Henri Ford) ve Nicholas Otto (Nikolas Oto) tarafından yapılan ilk arabalarda ve içten yanmalı motorlarda etanol yakıt olarak kullanılmıştır. Etanol, motorlu araçlarda zararlı gazların salınımını ve petrol ürünlerinin kullanımını azaltmak için doğrudan ya da belirli oranlarda benzinle karıştırılarak motor yakıtı olarak kullanılabilmektedir. En yaygın kullanım şekli E10 (%10 etanol, %90 benzin içerir.) ve E85'tir (%85 etanol, %15 benzin içerir.).

Etanol, hafif roketli yarış uçaklarında roket yakıtı olarak da kullanılmaktadır. Motorlu araçlarda karbonmonoksit ve azot oksit gibi zararlı gazların salınımını azalttığı için Amerika Birleşik Devletleri'nde etanolün yakıt olarak kullanımı teşvik edilmektedir. Şeker kamışı, mısır gibi bitkiler, yetiştirilme sürecinde doğadaki karbondioksidi kulanılır. İşte bunun için şeker kamışı, mısır gibi bitkilerden üretilen etanolün yakıt olarak kullanılmasıyla doğadaki toplam karbon dioksit miktarında artış meydana gelmez. Etanol, Amerika Birleşik Devletleri'nde mısırdan, Brezilya'da şeker kamışından üretilmektedir. 2011 yılında yapılan bir araştırmaya göre ülkemizde etanol üretimi için en uygun tahıl buğdaydır.

Etanol, polar yapıda olduğundan (Hidroksil, hidrofil özelliktedir.), suda çözünebilen önemli bir organik çözücüdür. Bu nedenle çeşitli ilaçlarda, tentürdiyot, boya, esans, parfüm ve birçok kozmetik ürününde çözücü olarak kullanılır.

Etanol, birçok organik bileşiğin üretiminde başlangıç maddesi olarak da kullanılmaktadır. 140 °C sıcaklıkta ve asidik ortamda, etanol moleküllerinin tepkimesiyle dietil eter (etoksi etan) elde edilir. Bu tepkime kondenzasyon tepkimesine bir örnektir.

$$\underset{\text{Etanol}}{2CH_3-CH_2-OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{140°C} \underset{\text{Dietil eter}}{CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3} + H_2O$$

Etanolün, karboksilik asitlerle tepkimesiyle esterler elde edilir (esterleşme tepkimesi). Örneğin asetik asit ile etanolün tepkimesinden etil asetat elde edilir. Tepkimede açığa çıkan suyun ortamdan uzaklaştırılması tepkimeyi hızlandırır.

$$\underset{\text{Etanol}}{CH_3-CH_2-OH} + \underset{\text{Etanoik asit (Asetik asit)}}{CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH} \underset{}{\overset{H_2SO_4}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{Etiletanoat (Etil asetat)}}{CH_3-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-CH_2-CH_3} + H_2O$$

3.4. ETERLER

Eterler, 1800'lü yıllarda tıpta anestezi maddesi (Görsel 3.14) olarak kullanılmıştır. Eterler, oksijen atomuna alkil ya da fenil gruplarının bağlanması ile elde edilen bileşiklerdir. Eterlerin genel formülü $C_nH_{2n+2}O$ şeklindedir.

Eterlerin yaygın adlandırılmasında oksijen atomuna bağlı her iki grubun adının (Alfabetik sıraya göre söylenir.) sonuna **eter** kelimesi getirilir. Eterlerin IUPAC adlandırılmasında ise oksijene bağlı en uzun karbon zincirine sahip alkil grubu ana zincir olarak kabul edilir. Ana zincire karşılık gelen alkana bir –OR grubu bağlanmış gibi düşünülür. –OR grubunun genel adı alkoksidir. Yani –OR grubundaki alkil (R) grubuna göre –OR grubunun adı belirlenir. Örneğin $-OCH_3$ metoksi, $-OCH_2CH_3$ etoksi olarak adlandırılır. Adlandırmada, diğer IUPAC kuralları da geçerlidir. Aşağıda verilen örnekleri inceleyiniz.



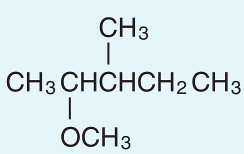
Görsel 3.14: *Amerikalı ünlü diş doktoru William T. G. Morton (Vilyım T. G. Morton) 1846 yılında eteri anestezi için kullanmıştır.*

	$CH_3OCH_2CH_3$	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2OCH_2CH_3$	$C_6H_5OC(CH_3)_2CH_3$
IUPAC adı:	Metoksietan	Etoksietan	Etoksipropan	*ter*-Bütoksibenzen
Yaygın adı:	Etil metil eter	Dietil eter	Etil propil eter	*ter*-Bütil fenil eter

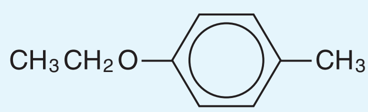
Örnek

Aşağıda verilen eterlerin IUPAC adlandırmasını yapalım.

a)



b)

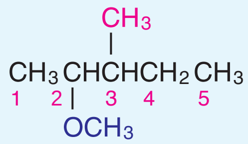


Strateji

Oksijen atomuna bağlı gruplardan en uzun karbon zincirine sahip olan, ana zincir olarak kabul edilir. Bu ana zincire bir alkoksi (–OR) grubu bağlıymış gibi düşünülür. Bu gruba, küçük sayı gelecek şekilde ana zincir numaralandırılır. Bağlı gruplar varsa bağlı grupların yeri ve adı alfabetik sıraya göre söylenerek ana zincire karşılık gelen alkanın adı söylenir.

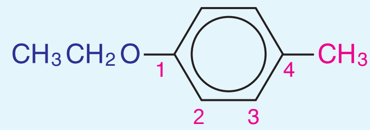
Çözüm

a)



2-Metoksi-3-metilpentan

b)

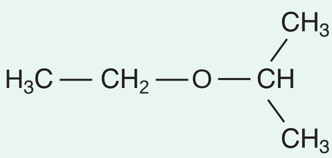


1-Etoksi-4-metilbenzen

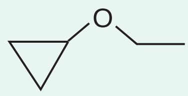
Alıştırma

Aşağıda verilen bileşiklerin sistematik adlarını yazınız.

a)



b)



Eterler, yapısındaki oksijen atomunun her iki tarafında aynı alkil varsa **simetrik eter,** oksijen atomuna bağlı alkil grupları birbirinden farklıysa **asimetrik eter** olarak sınıflandırılır. Örnek olarak verilen simetrik ve asimetrik eterleri inceleyiniz.

	$\underbrace{CH_3CH_2}_{R'}O\underbrace{CH_2CH_3}_{R'}$	$\underbrace{CH_3}_{R}O\underbrace{CH_2CH_3}_{R'}$
	Simetrik eter	Asimetrik eter
IUPAC adı:	Etoksietan	Metoksietan
Yaygın adı:	Dietil eter	Etil metil eter

Simetrik ve asimetrik eterlerin elde edilme yöntemleri birbirinden farklıdır. Simetrik eterler alkollerin asidik ortamda ısıtılmasından elde edilirken asimetrik eterler alkolatlardan elde edilir. Eterlerin en bilineni simetrik eter olan "dietil eter" bileşiğidir. Dietil eter, etil alkolün 140 °C'ta sülfürik asitle ısıtılmasından elde edilir. Bu tepkimede dietil eter, iki molekül etil alkolün birleşmesi esnasında bir molekül suyun uzaklaşmasıyla oluşur. Bu tepkime kondenzasyon tepkimesine bir örnektir.

$$\underset{\text{Etil alkol}}{CH_3-CH_2-OH} + \underset{\text{Etil alkol}}{CH_3-CH_2-OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{140\,°C} \underset{\substack{\text{Dietil eter}\\ \text{(Etoksietan)}}}{CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3} + H_2O$$

Eterler çok kararlı bileşikler olduğu için bunların kimyasal tepkimeye girme eğilimleri düşüktür. Ancak susuz dietil eter, havayla uzun süre temas ettiğinde havadaki oksijenle yavaş bir tepkimeye girerek peroksitleri oluşturur. Oluşan peroksitler patlayıcı olduğu için tehlikeli maddelerdir. Bu nedenle laboratuvarda dietil eter kullanımına çok dikkat edilmelidir.

Eterler arasında en çok bilinen dietil eter, kaynama noktası düşük, çok yanıcı bir sıvıdır. Çok düşük sıcaklıkta (–20 °C'a kadar) motorlu araçların motorunun ilk çalışmasında eter spreyler kullanılmaktadır. Dietil eter, 1842'de tıpta ilk kez anestezi maddesi olarak kullanılmıştır. Günümüzde tıpta anestezi maddesi olarak dietil eter yerine insan sağlığına olumsuz etkileri daha az olan maddeler kullanılmaktadır (halotanlar, $CF_3CHBrCl$ gibi).

Eterler, ortaklanmamış elektronları olan oksijen atomu içerdikleri için polar moleküllerdir. Ancak eter molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşimi alkollere göre (Alkol molekülleri arasında hidrojen bağları vardır.) daha zayıf olduğu için eterler alkollerden daha uçucudur. Bu nedenle eterlerin kaynama noktası, aynı karbon sayısına sahip alkollerin kaynama noktasından daha düşüktür.

Eterlerin polar yapıda olması suda çözünmelerini sağlar. Ancak alkil gruplarındaki karbon sayısı arttıkça sudaki çözünürlükleri azalır. Eterlerin hem polar yapıda olmaları hem de apolar yapıdaki alkil gruplarını (hidrofob kısım) içermeleri, onların polar ve apolar organik bileşikler için iyi bir çözücü olmalarını sağlar. Eterler çok reaktif olmadığı için yağlar, mumlar, plastikler ve vernikler gibi organik maddeler için iyi çözücüdür. Dietil eter, çözücü olarak en yaygın kullanılan eterdir (Görsel 3.15).

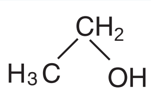
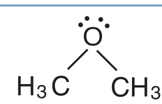


Görsel 3.15: *Çözücü olarak kullanılan dietil eter stok şişesi*

Fonksiyonel Grup İzomerliği

Aynı kapalı formüle sahip, fonksiyonel grupları farklı moleküller arasında görülen izomerliğe **fonksiyonel grup izomerliği** denir. C_2H_6O kapalı formülüne sahip etil alkol (etanol) ile dimetileter (metoksimetan) birbirinin fonksiyonel grup izomeridir. Oda koşullarında sıvı hâlde bulunan etil alkolün kaynama noktası 78,5 °C iken oda koşullarında gaz hâlde bulunan dimetil eterin kaynama noktası –24,9 °C'tur (Tablo 3.23). Etil alkolün kaynama noktasının dimetil eterden daha yüksek olmasının nedeni, etil alkolün molekülleri arasında hidrojen bağlarının olmasıdır.

Tablo 3.23: *Etil alkol ve dimetil eter moleküllerinde fonksiyonel grup izomerliği*

Etil Alkol	Dimetil Eter
CH_3CH_2OH	CH_3OCH_3
	
Kaynama noktası: 78,5 °C	Kaynama noktası: –24,9 °C
Erime noktası: –114 °C	Erime noktası: –138 °C
Fonksiyonel grup –OH	Fonksiyonel grup 
C_2H_6O	

3.5. KARBONİL BİLEŞİKLERİ

Aldehit ve ketonlar, birçok canlı sistemde bulunan, genellikle kendilerine özgü kokuları olan bileşiklerdir. Gülün (Görsel 3.16.a), bademin (Görsel 3.16.b) ve tarçının (Görsel 3.16.c) kendilerine özgü kokuları, içerdikleri aldehit ve ketonlardan kaynaklanmaktadır.



Gül
(a)



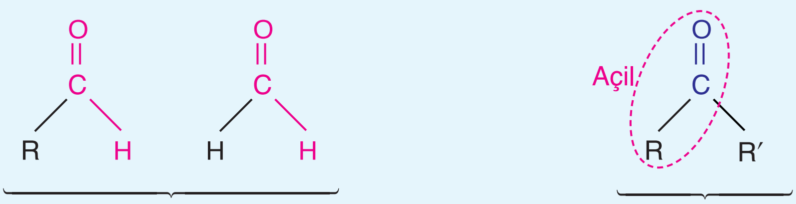
Badem
(b)



Tarçın
(c)

Görsel 3.16:* *a. *Bazı güller diğerlerine göre daha güzel kokar. Bunun nedeni içerdikleri bir ketondandır. (β-damaskenon).* ***b.*** *Bademin kendine özgü kokusu, bir aldehit olan benzaldehitten kaynaklanmaktadır.* ***c.*** *Tarçının hoş kokusu, bir aldehit olan sinnamaldehitten kaynaklanmaktadır.*

Aldehit ve ketonların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen, yapılarındaki karbonildir (C = O). Karbonil grubuna bir tane alkil (–R) bağlanmasıyla elde edilen gruba **açil grubu** denir. Görsel 3.16'daki bileşiklerin formülleri karbonil içermesine rağmen aldehit ve ketonların özellikleri birbirinden farklıdır. Aldehit ve ketonların yapısı birbirine çok benziyor olmasına rağmen aldehitlerde karbonil grubuna en az bir tane hidrojen bağlı iken ketonlarda karbonil grubuna iki tane alkil bağlıdır. Aldehit ve ketonları aşağıdaki gibi genel formüllerle gösterdiğimizde bu fark daha kolay görülmektedir.



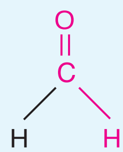
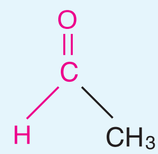
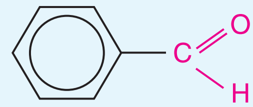
Aldehitler
(RCHO ya da HCHO)

Ketonlar
(RCOR)

Aldehitlerde, karbonildeki karbon atomuna mutlaka bir hidrojen atomu bağlı iken karbonilin diğer tarafında ise bir alkil, aril ya da bir hidrojen atomu bağlı olabilir. Ketonlarda karbonilin her iki tarafında da mutlaka alkil ya da aril bağlı olmalıdır. Bu alkil veya aril grupları aynı alkil ya da aril grupları olabileceği gibi farklı da olabilir.

3.5.1. Aldehitler ve Ketonlar

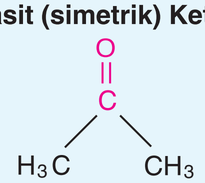
Aldehitlerin IUPAC adlandırılmasında karbonil grubunu içeren en uzun karbon zinciri, ana zincir olarak seçilir ve karbonile en küçük numara gelecek şekilde numaralandırılır. Bağlı grupların yerleri ve sayıları belirtilir. Ana zincire karşılık gelen alkanın sonuna **-al** son eki getirilir (Aril grubu varsa adlandırma aril grubuna göre yapılır.). Aldehitlerin yaygın kullanılan adları da vardır. Aşağıda verilen aldehitlerin IUPAC ve yaygın adlarını inceleyiniz.

IUPAC adı:	Metanal	Etanal	Benzenal
Yaygın adı:	Formaldehit	Asetaldehit	Benzaldehit

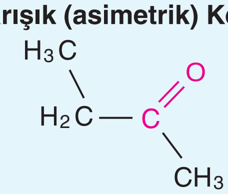
Ketonların IUPAC adlandırılmasında karbonil grubunu içeren en uzun karbon zinciri ana zincir olarak seçilir ve karbonile en küçük numara gelecek şekilde numaralandırılır. Bağlı grupların yerleri ve sayıları belirtilir. Ana zincire karşılık gelen alkanın sonuna **-on** son eki getirilir. Ketonların yaygın adları da vardır. Karbonil grubuna aynı gruplar bağlı ise **basit (simetrik) keton**, farklı gruplar bağlı ise **karışık (asimetrik) keton** denir. Aşağıda verilen ketonların IUPAC ve yaygın adlarını inceleyiniz.

Basit (simetrik) Keton



IUPAC adı: Propanon
Yaygın adı: Aseton (Dimetil keton)

Karışık (asimetrik) Keton



Bütanon
Etil metil keton

Aldehitlerin en küçük üyesi, bir karbon içeren metanaldir (formaldehit). Ketonların ise en küçük üyesi, üç karbonlu propanondur (aseton).

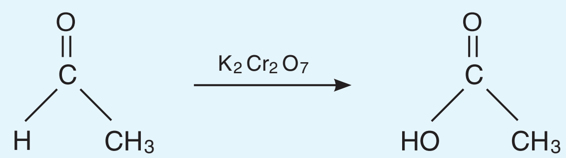
Alıştırma

Aşağıda adları verilen bileşiklerin açık formüllerini yazınız.

a) 2-Pentanon **b)** 3-Metil bütanal

c) 2,2-Dimetil propanal **ç)** 2-Metil-3-pentanon

Aldehit ve ketonların yapıları birbirine benzemesine rağmen kimyasal özelliklerinde farklılıklar vardır. Her ikisinin yapısında da karbonil grubu vardır ancak aldehitlerde karbonil grubunda bağlı hidrojen atomu kolaylıkla verilebilirken ketonlarda böyle bir durum söz konusu değildir. Bu nedenle aldehitler zayıf yükseltgen maddelerle bile kolaylıkla yükseltgenebilirken ketonlar yükseltgenmeye karşı direnç gösterir. Aldehitler yükseltgendiğinde karboksilik asitler elde edilir. Örneğin etanal (asetaldehit) uygun bir yükseltgen madde ile etanoik aside (asetik asit) yükseltgenebilir. Yükseltgen madde olarak $KMnO_4$ ve $K_2Cr_2O_7$ bileşiklerinin asitli çözeltileri kullanılır.



Etanal (Asetaldehit) → Etanoik asit (Asetik asit)

Aldehitler bazik ortamda Fehling ve Tollens ayıraçları ile yükseltgenerek karboksilik asit oluşturabilir.

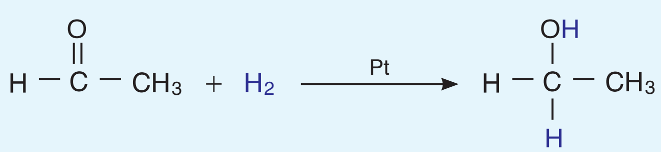
Tollens ayıracı, amonyaklı gümüş nitrat çözeltisidir. Tollens ayıracı ile tepkimeye giren aldehit, karboksilik aside yükseltgenirken gümüş iyonları metalik gümüşe indirgenir. Bu tepkimenin gerçekleştiği cam kabın iç yüzeyi metalik gümüş ile kaplanır. Cam kaba dıştan bakıldığında ayna gibi görünür. Buna gümüş aynası adı verilir.

$$R-CHO + 2[Ag(NH_3)_2]^+ + 2OH^- \rightarrow \underbrace{2Ag(k)}_{\text{Gümüş aynası}} + R-COOH + 4NH_3 + H_2O$$

Fehling ayıracı, bazik ortamda bakır(II) iyonları içeren bir çözeltidir. Aldehitler, fehling çözeltisi ile karboksilik aside yükseltgenirken bakır(II) iyonları bakır(I)'e indirgenir ve kırmızı renkli bakır(I) oksit çökeleği oluşur.

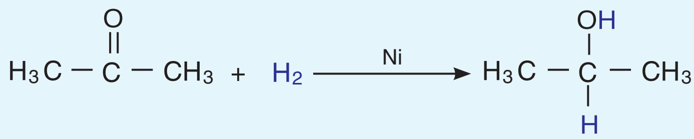
$$R-CHO + \underbrace{2Cu^{2+}}_{\text{Mavi}} + 4OH^- \rightarrow \underbrace{Cu_2O(k)}_{\text{Kırmızı}} + R-COOH + 2H_2O$$

Aldehit ve ketonların indirgenmesinde hidrojen kaynağı olarak $LiAlH_4$ ve $NaBH_4$ kullanılır. Aldehitler uygun katalizörler ve indirgen maddelerle birincil alkollere indirgenir. Aşağıdaki örnekte etanal, birincil alkol olan etanole indirgenmiştir.



Etanal (Asetaldehit) → Etanol (Etil alkol) Birincil alkol

Ketonlar ise uygun katalizör ve indirgenlerle ikincil alkollere indirgenir. Aşağıdaki örnekte propanon indirgenerek ikincil alkol olan 2-propanol elde edilmiştir.

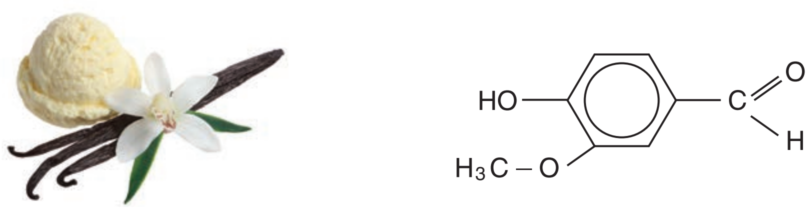


Propanon (Aseton)

2-Propanol (izopropil alkol) İkincil alkol

Aldehit ve ketonların kendisine özgü kokuları vardır. Bu özelliklerinden dolayı aldehit ve ketonlardan bazıları gıda ve kozmetik sanayisinde koku ve tatlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Vanilin, vanilya bitkisinden (Görsel 3.17.a) elde edilen, dondurma ve pasta yapımında kullanılan bir aldehittir (Görsel 3.17.b).



(a) (b)

Görsel 3.17: a. *Vanilya bitkisi* ***b.*** *Bir aldehit olan vanilinin kimyasal fomülü*

Tonka yemişi olarak da bilinen tonka fasulyesinden elde edilen aldehitler, birçok parfümün üretilmesinde kullanılmaktadır (Görsel 3.18).

Parfüm yapımında limon, bergamot, portakal çiçeği ve yasemin çiçeği gibi bitkilerden elde edilen aldehitler de kullanılmaktadır. Bu aldehitler birçok ünlü parfümün yapısında bulunmaktadır (Görsel 3.19).



Görsel 3.18: *Tonka fasulyesi*



Görsel 3.19: *Bilinen birçok parfüme hoş koku veren maddeler aldehitlerdir.*

Hoş kokulu ketonlara örnek olarak nane bitkisinden elde edilen karvon bileşiği verilebilir. Bu bileşik, ferahlatıcı özelliği nedeniyle nane aroması vermek için naneli sakız ve naneli şeker üretiminde kullanılmaktadır (Görsel 3.20).



Görsel 3.20: *Nane bitkisi ve üretiminde karvon kullanılmış naneli sakız*

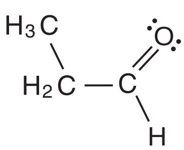
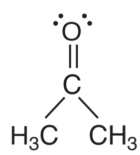
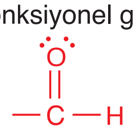
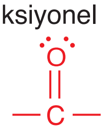
Ketonların en bilinen üyesi asetondur. Aseton suda ve birçok organik bileşikte çözünebilen renksiz ve uçucu bir sıvıdır. Birçok organik bileşiği çözebildiği için kozmetik sektöründe çözücü olarak kullanılmaktadır. Tırnaklara sürülen ojenin temizlenmesinde aseton kullanılır (Görsel 3.21).



Görsel 3.21: *Tırnaklara sürülen oje, aseton ile temizlenir.*

Fonksiyonel grup izomerliği, aynı karbon sayısına sahip aldehitler ve ketonlar arasında da mümkündür. Propanal ile propanon bileşikleri birbirinin fonksiyonel grup izomeridir (Tablo 3.24).

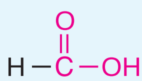
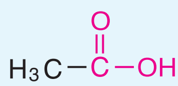
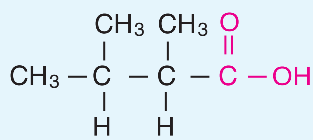
Tablo 3.24: *Propanal ve propanon bileşiklerinde fonksiyonel grup izomerliği*

Propanal	Propanon
CH_3CH_2CHO	CH_3COCH_3
	
Fonksiyonel grup 	Fonksiyonel grup 
C_3H_6O	

3.6. KARBOKSİLİK ASİTLER

Karboksilik asitler, karboksil grubu içeren organik asitlerdir. Karboksilik asitlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen fonksiyonel grup, karboksildir. Karboksilik asitler, içerdikleri karboksil sayısına göre sınıflandırılabilir. Yapısında bir tane karboksil grubu bulunan karboksilik asitler **monokarboksilik asitler,** birden fazla karboksil grubu bulunanlar **polikarboksilik asitler** olarak sınıflandırılır. Polikarboksilik asitlerde iki karboksil grubu içerenler dikarboksilik asit, üç karboksil içerenler trikarboksilik asit olarak adlandırılır. Yapılarında –OH grubu bulunan karboksilik asitler **Oksi Asit (Hidroksi Asit)**, yapılarında $-NH_2$ (amino) grubu bulunduran karboksilik asitler **amino asitlerdir**.

Karboksilik asitlerin IUPAC adlandırılmasında karboksil içeren en uzun karbon zinciri, ana zincir olarak belirlenir. Karboksilin karbonuna 1 numarası verilerek numaralandırılır ve ana zincire karşılık gelen alkanın adının sonuna **-oik asit** son eki getirilir. Başka bağlı gruplar varsa bunların yerleri ve sayıları belirtilerek adlandırma yapılır. IUPAC adlarının yanı sıra çok bilinen karboksilik asitlerin yaygın adları da kullanılmaktadır. Karboksilik asitlerin doğal kaynaklarına göre bazılarının yaygın adları da vardır. Aşağıda verilen karboksilik asitlerin IUPAC ve yaygın adlarını inceleyiniz.

			
IUPAC adı:	Metanoik asit	Etanoik asit	2,3-Dimetil bütanoik asit
Yaygın adı:	Formik asit	Asetik asit	

Metanoik asit; formik asit ya da karınca asidi olarak da bilinir. Latince “formica (formika)” karınca anlamındadır. Bu, karıncaların salgısında bulunan bir asittir (Görsel 3.22.a) ve ilk defa 1670 yılında bir karınca türünün salgısında keşfedilmiştir. Formik asit, ısırgan otunun yapraklarında da bulunmaktadır (Görsel 3.22.b).



(a)



(b)

Görsel 3.22: a. *Formik asit içeren karınca salgısı* ***b.*** *Isırgan otu*

Etanoik asit, asetik asit ya da sirke asidi olarak da bilinir. Latince "asetum (asetum)" sirke anlamındadır. Evlerimizde kullandığımız sirke, asetik asidin %5'lik sulu çözeltisidir. Elma ve üzüm sirkesi en çok bilinenleridir (Görsel 3.23). Asetik asit başka meyvelerden de doğal olarak elde edilebildiği gibi laboratuvarda yapay olarak da üretilebilmektedir.



Görsel 3.23: *Elma ve üzümden yapılmış sirke*

Salisilik asit, aksöğüt ağacından doğal olarak elde edilen bir asittir. Salisilik asit benzen halkası içerir, bu nedenle aromatik yapıdadır. Salisilik asit özellikle aspirin yapımında kullanılır (Görsel 3.24). Aspirin çok eski yıllardan beri bilinen ve günümüzde dünyada en çok kullanılan ağrı kesici ve ateş düşürücüdür.



(a)



(b)

Görsel 3.24: a. *Salisilik asit elde edilen aksöğüt ağacı* ***b.*** *Salisilik asit kullanılarak üretilen aspirin*

Ftalik asit, naftalinden yapay olarak -ftalik asit anhidritine su katılmasıyla- elde edilir. Ftalik asitten üretilen ftalatlar, özellikle plastik sektöründe (biberon, emzik ve polyester yapımında, Görsel 3.25) ve kişisel bakım ürünlerinde (şampuan, saç bakım ürünleri gibi) kullanılmaktadır.



Görsel 3.25: *Ftalik asitten elde edilen ftalatlar, biberon üretiminde kullanılmaktadır.*

Çevremizdeki birçok madde kimyasal özelliklere sahiptir ve laboratuvar koşullarında üretilir. Bu tür maddelerin insan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi oldukça önemlidir. Kendine, çevresine, vatanına, ailesine karşı sorumlu; ailesini seven bireyler olarak kimyasal içerikli maddelerin tüketiminde bilinçli davranmalıyız. Vatansever üreticiler olarak kimyasal maddelerin üretiminde toplumsal kurallara uymalı, toplumu, insan sağlığını önemsemeliyiz.

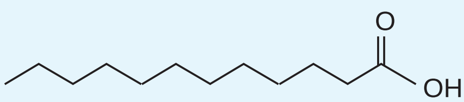
Karboksilik asitler meyvelerin yapısında bolca bulunur. Meyvelerde en çok bulunan karboksilik asitler, malik asit ve sitrik asittir. Malik asit daha çok elma, vişne ve kiraz gibi meyvelerde bulunur (meyvenin sahip olduğu karboksilik asidin yaklaşık %90'ı). Sitrik asit ise turunçgiller (limon, portakal, greyfurt gibi) ve çilekte daha çok bulunur. Bunun yanı sıra portakalda %10-25, limonda %5 oranında malik asit vardır. Bu asitlerin dışında tartarik asit sadece üzümlerde baskın olan karboksilik asittir. Meyvelerin uzun süreli depolanmasında bu karboksilik asitlerin bir kısmının kaybı söz konusudur. Bu nedenle meyveler uzun süre bekletilmeden tüketilmelidir.

Folik asit, B grubu vitaminlerindendir (B9). Folik asit, ıspanak gibi yeşil yapraklı sebzelerde bol miktarda bulunur. Ayrıca alabalık, böbrek, fıstık, brokoli, lahana, portakal ve tam tahıllılar folik asitçe zengindir (Görsel 3.26). DNA sentezinde gerekli olduğu için folik asit, hücre bölünmesinde önemli rol oynar. Folik asit eksikliğinde hücreler yeterli şekilde bölünemezler.

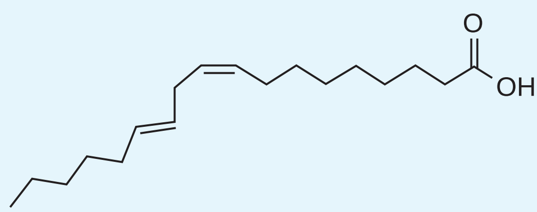


Görsel 3.26: *Folik asitçe zengin bazı besin maddeleri*

Canlı organizmalar açısından önemli bir role sahip yağ asitleri de karboksilik asitlere örnektir. Yağ asitleri uzun karbon zinciri içeren karboksilik asitlerdir. Bunlar doymuş ve doymamış yağ asitleri olmak üzere ikiye ayrılır. Yağ asitlerinde karbon zincirindeki karbon atomları arasında ikili bağ (C = C) varsa bu tür yağ asitleri **doymamış yağ asitleri** olarak sınıflandırılır. Karbon atomları arasında sadece tekli bağ (C – C) bulunduran (ikili bağ bulundurmayan) yağ asitleri de **doymuş yağ asitleri** olarak adlandırılır.



Doymuş yağ asidi



Doymamış yağ asidi

Yağ asitlerinin yapılarında ikili bağların olması ya da olmaması onların bazı özelliklerini etkiler. Doymuş yağ asitleri genellikle düz zincirli yapıda moleküllere sahip olduğundan moleküller arasındaki van der Waals etkileşimleri de büyüktür. Bu nedenle bunların erime noktaları, doymamış yağ asitlerine göre yüksektir. Molekül kütleleri arttıkça erime noktaları da artar. Doymamış yağ asitlerinde (karbon zincirinde yer alan ikili bağlardan dolayı) doymamış yağ asitlerinin molekülleri arasındaki van der Waals etkileşimi daha zayıftır. Bu nedenle bunların erime noktaları, doymuş yağ asitlerine göre daha düşüktür. Örneğin aynı karbon sayısına (18 C) sahip doymuş bir yağ asidi olan stearik asit ile doymamış bir yağ asidi olan linoleik asidi karşılaştıralım.

Stearik asidin erime noktası 70 °C iken linoleik asidin erime noktası –5 °C'tur. Bunun nedeni doymuş bir yağ asidi olan stearik asidin moleküllerinde karbon zincirinde ikili bağların olmamasıdır. Karbon atomları arasında ikili bağları içermemesinden dolayı stearik asidin molekülleri arasındaki van der Waals etkileşimleri linoleik asit molekülleri arasındaki etkileşime göre oldukça fazladır. Bu nedenle de erime noktası linoleik asidin erime noktasına göre daha yüksektir (Tablo 3.25).

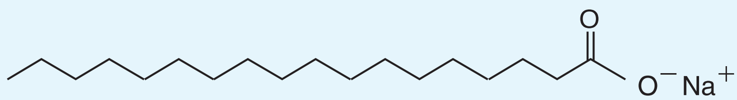
Tablo 3.25: *Bazı doymuş ve doymamış yağ asitlerinin karbon sayısı, ikili bağ sayısı, formülü, yaygın adı ve erime noktası*

	Karbon Sayısı	İkili Bağ Sayısı (C = C)	Formülü	Yaygın Adı	Erime Noktası (°C)
Doymuş Yağ Asitleri	12	0	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	Laurik asit	44
	14	0	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	Miristik asit	58
	16	0	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	Palmitik asit	63
	18	0	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	Stearik asit	70
Doymamış Yağ Asitleri	18	1	$CH_3(CH_2)_7CH = CH(CH_2)_7COOH$	Oleik asit	16
	18	2	$CH_3(CH_2)_4CH = CHCH_2CH = CH(CH_2)_7COOH$	Linoleik asit	−5

Yağların bazlarla tepkimesi sonucunda yağ asidi tuzları ve gliserin elde edilir. Elde edilen yağ asidi tuzları günlük yaşantımızda sıkça kullandığımız sabunlardır. Sabun yapımında en çok kullanılan yağ asitleri laurik asit, miristik asit, palmitik asit ve stearik asittir (karbon sayısı 12 ve 18 arasında olan yağ asitleri). Örneğin stearik asidin NaOH ile tepkimesi sonucunda sodyum stearat elde edilir (Görsel 3.27). Sodyum stearat, suyla iyi köpüren ve suya dayanıklı bir sabundur.



Görsel 3.27: *Suya dayanıklı sabun*



Sodyum stearat

Daha yumuşak sabun üretmek için doymuş yağ asitlerine belirli bir oranda doymamış yağ asitleri eklenir.

Karboksilik asitlerin en basit aromatik üyesi, benzoik asittir. Benzoik asit doğada yaban mersini, kızılcık, mantar, tarçın ve karanfil gibi bitkilerde bulunur.

Benzoik asit mayaların, küflerin ve bazı bakterilerin üremelerini engeller. Benzoik asit ve benzoik asit tuzları (benzoatlar), asitli ve zayıf asitli gıdalarda koruyucu katkı maddesi olarak kullanılır (Görsel 3.28, benzoik asidin gıda kodu, E210). Benzoatlar; benzoik asidin sodyum, potasyum ve kalsiyum içeren tuzlarıdır (sodyum benzoat, potasyum benzoat, kalsiyum benzoat).

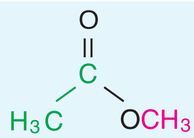
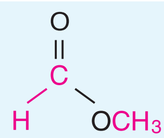
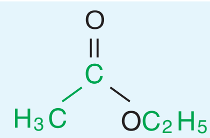


Görsel 3.28: *Koruyucu gıda katkı maddeleri meyve sularında sıkça kullanılır.*

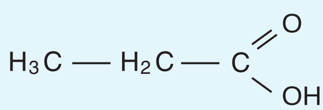
Sodyum benzoat, salata soslarında, gazlı içeceklerde, reçel ve meyve sularında koruyucu gıda katkı maddesi olarak kullanılır (gıda kodu, E211). Aynı zamanda ilaç ve kozmetik ürünlerinde de koruyucu madde olarak yer alır. Potasyum benzoat, meyve sularında, gazlı içeceklerde ve turşularda koruyucu gıda katkı maddesi olarak kullanılır (gıda kodu, E212). Kalsiyum benzoat da koruyucu gıda katkı maddesi olarak gıda endüstrisinde (gıda kodu, E213) ayrıca diş macunlarında ve diş bakım sıvılarında da kullanılmaktadır.

3.7. ESTERLER

Esterler, karboksilik asitlerde hidroksil (–OH) yerine –OR bağlanmasıyla elde edilir. Esterlerin IUPAC adlandırılmasında önce oksijen atomuna bağlı olan (–OR'deki) alkilin adı söylenir. Türetildiği karboksilik asidin adındaki **-oik asit** son eki yerine **-oat** son eki kullanılarak adlandırma yapılır.

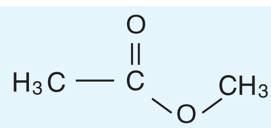
			
IUPAC adı:	Metiletanoat	Metilmetanoat	Etiletanoat
Yaygın adı:	Metil asetat	Metil format	Etil asetat
	(Etanoik asitten türemiştir.)	(Metanoik asitten türemiştir.)	(Etanoik asitten türemiştir.)

Aynı karbon sayısına sahip karboksilik asitlerin ve esterlerin kapalı formülleri aynıdır ve bunlar birbirinin fonksiyonel grup izomeridir. Propanoik asit ve metil etanoat bileşiklerinin kapalı formülü $C_3H_6O_2$ ile gösterilir ancak bunların yapı formülleri farklıdır.



Propanoik asit

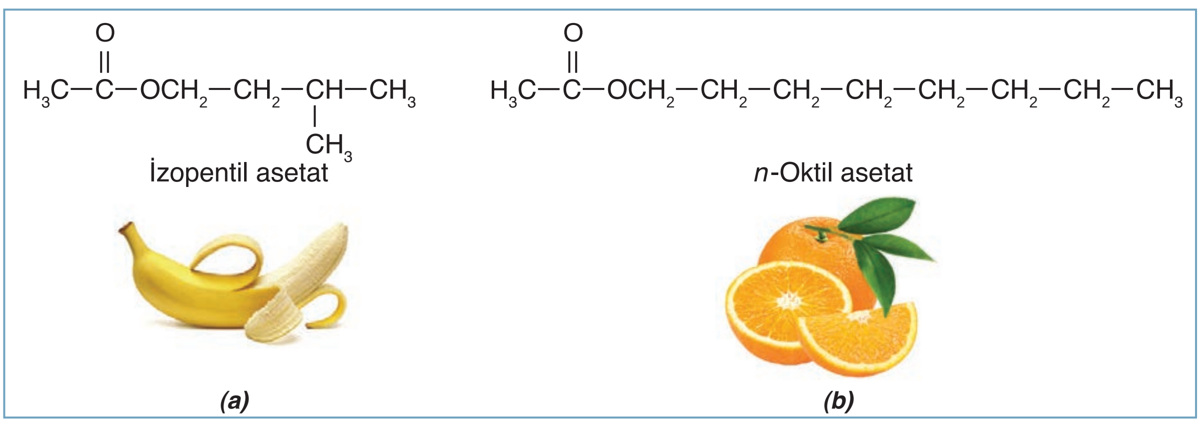
Kaynama noktası = 141 °C



Metiletanoat

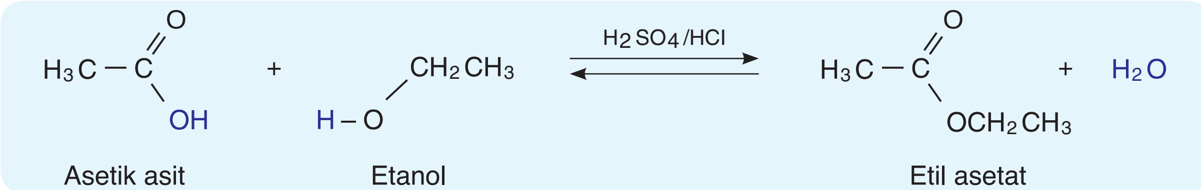
Kaynama noktası = 57,1 °C

Esterler birçok meyvenin güzel kokmasını sağlayan bileşiklerdir. Örneğin muzun kendine has güzel kokusu izopentil asetat (Görsel 3.29.a), portakalın güzel kokusu ise *n*-oktil asetat moleküllerinden kaynaklanmaktadır (Görsel 3.29.b).



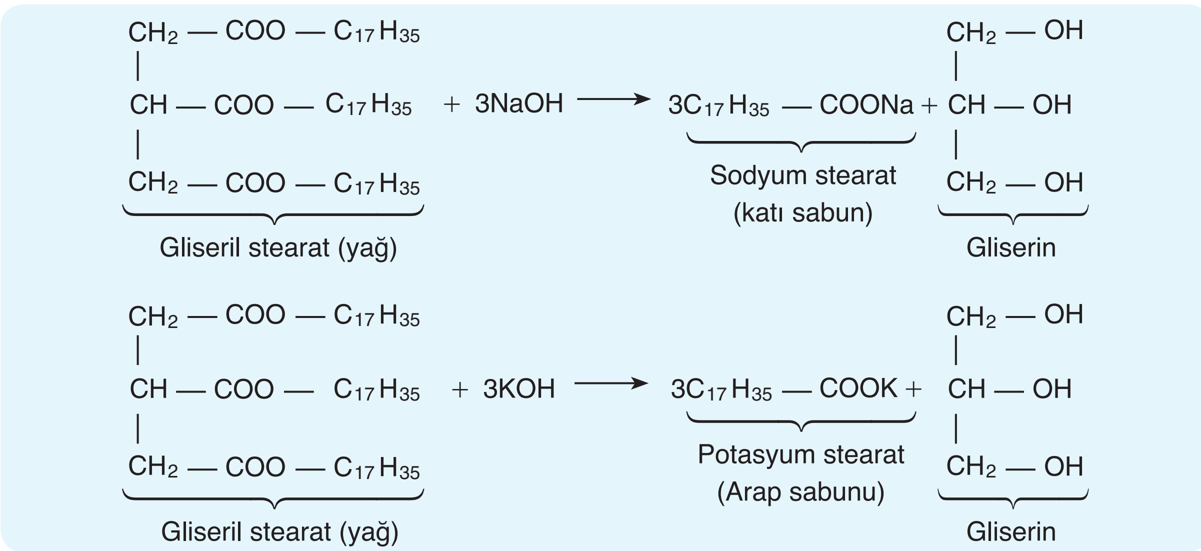
***Görsel 3.29: a.** Muz ve muzun yapısındaki izopentil asetat **b.** Portakal ve portakalın yapısıdaki n-oktil asetat*

Karboksilik asit molekülü ile bir alkol molekülü tepkimeye girdiğinde **ester** elde edilir. Bu tepkimede ester molekülü ile birlikte su molekülü de oluşur. Bu tür tepkimeler **esterleşme tepkimeleri** olarak bilinir. Esterleşme tepkimeleri H_2SO_4 ya da HCl katalizörlüğünde gerçekleşen denge tepkimeleridir. Örneğin etil asetat elde etmek için asetik asit ile etanol tepkimeye sokulmalıdır.



Esterler, katı ve sıvı yağların yapısında da doğal olarak bulunur. Yağlar, yağ asitlerinin gliserin molekülü ile esterleşme tepkimesi sonucunda elde edilir. Hayvansal yağ olan tristearin, gliserin ve stearik asidin esterleşme tepkimesi sonucunda oluşan bir esterdir.

Bitkisel ve hayvansal yağların kuvvetli bazlarla uygun sıcaklıkta ısıtılmasıyla gerçekleşen tepkimede oluşan tuza **sabun**, bu olaya **sabunlaşma** denir. Bu işlem sırasında oluşan yağ asitleri, kullanılan sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidrokside (KOH) bağlı olarak sodyum ve potasyum tuzuna (sabuna) dönüşür. Yan ürün olarak ise gliserin açığa çıkar. Gliseril stearatın NaOH ile oluşturduğu sabun, beyaz (katı) sabundur. Gliseril stearatın KOH ile oluşturduğu sabun, halk arasında Arap sabunu olarak bilinen yumuşak sabundur.



Esterler; lanolin, bal mumu ve balsam gibi doğal maddelerin yapısında da bulunmaktadır.

Lanolin, yünlü hayvanların iklim ve çevre koşullarından korunmak için yağ bezelerinden salgıladıkları mumsu özellikte bir maddedir. Özellikle koyun yününden üretilen lanolin (Görsel 3.30), kozmetik sektöründe kişisel bakım ürünlerinde kullanılmaktadır (cilt bakım ürünleri, dudak kremi, yüz kremi gibi). Ayrıca yağlayıcı madde, pas önleyici madde ve ayakkabı cilası gibi bazı ticari ürünlerde lanolin kullanılmaktadır.



Görsel 3.30: *Koyun yününden elde edilen lanolin*

Bal mumu, arıların peteklerini yapmak için salgıladıkları (Görsel 3.31.a) yumuşak, sarı renkte ve mumsu bir maddedir. Bal mumu sadece doğal olarak arılar tarafından üretilen bir madde değildir. Sanayide de yapay olarak üretilebilmektedir. Kolay şekil alması nedeniyle kalıp çıkarmada, mum (Görsel 3.31.b) ve heykel yapımında kullanılır. Gıda sektöründe bazı gıdaların bozulmasını engellemek ve bu gıdaları nemden korumak için bal mumu kullanılır. Bal mumu gıda katkı maddesi olarak da bazı gıda ürünlerinde kullanılmaktadır (gıda kodu, E901).



(a) (b)

Görsel 3.31:* a.** *Palmitik asidin bir esteri olan* ***triakontil palmitat $(CH_3(CH_2)_{14}COO(CH_2)_{29}CH_3)$*, arıların ürettiği bal mumunun bileşenlerinden biridir.* ***b.*** *Bal mumu, mum yapımında da kullanılmaktadır.*

Balsam; ester, karboksilik asit ve alkol bileşiklerini içeren bir tür reçinedir. Bazı bitkilerden elde edilen balsam, vücut için gerekli yağları çözmede kullanılır. Ayrıca kozmetik sektöründe ve sakız üretiminde de balsam kullanılmaktadır.

Esterler güzel kokulu ve tatlı maddeler olmalarından dolayı, yapay tatlandırıcılarda ve parfüm üretiminde kullanılır. Esterler; boya, vernik ve bazı plastik maddeleri çözmeye de yarar. Örneğin etil asetat, boya ve yapıştırıcı maddelere çözücü ve seyreltici etki yapar. Şekerlemelerde ve parfümlerde kullanılan etil asetat, tırnak boyasının temizlenmesinde kullanılan asetonun içine de karıştırılır.

Deney 3.1.

Sabun Eldesi

Odak sorusu: Sabunlaşma nasıl gerçekleşir?

Kavramsal Kısım: Odak sorusunu yanıtlayabilmek için aşağıda belirtilen kavram ve ilkeleri bilmeniz, hatırlamanız gerekir. Deneye başlamadan önce bu kavram ve ilkeleri araştırınız.

- Yüzey aktif maddeler
- Sabunun kimyasal yapısı nedir?

Deneyde Kullanılacak Araç ve Gereçler

- Sıvı yağ
- Etil alkol
- %30'luk NaOH çözeltisi
- NaCl
- 600 mL'lik beherglas
- 50 mL'lik mezür
- İspirto ocağı (ısıtıcı)
- Huni
- Süzgeç kâğıdı
- Cam çubuk

Deneyin Yapılışı

1. 600 mL'lik bir beherglasa 20 mL sıvı yağ, 20 mL etil alkol, 10 mL %30'luk NaOH çözeltisi koyunuz.

2. Karışımı orta şiddette ateşte, yaklaşık 7-8 dakika ısıtınız (Küçük bir miktar karışım, soğuk suya atıldığında yağlı bir leke oluşturmuyorsa ısıtma işlemi tamamlanmış demektir.).

Uyarı

Etil alkol uçucu bir sıvıdır ve sıcak NaOH cilt için tehlikelidir. Bu nedenle ısıtma işlemi çeker ocakta yapılmalıdır.



3. Karışımı soğuk su banyosunda soğutunuz ve soğutulmuş karışımın üzerine 40 mL sıcak su ilave ederek karıştırınız.

4. Karışımı tekrar soğumaya bırakınız. Soğuyan karışıma 50 mL doymuş NaCl çözeltisi ilave ediniz.

5. Sabunun çözelti üzerinde yumuşak topaklar hâlinde oluşumunu gözlemleyiniz.

6. Süzme işlemleriyle tepkime sonucunda oluşan sabunu ve gliserolü birbirinden ayırınız.

Deneysel İddialar

Kayıtlar

Karışımı Oluşturan Maddeler	Eklenen Miktarlar
Sıvı yağ (mL)	
Etil alkol (mL)	
NaOH çözeltisi (mL)	
Doymuş NaCl (mL)	

Bilgi İddiaları

1. Sabunlaşma tepkimesini yazınız.
2. Sabunun yapısında hangi yağ asidi bulunabilir?

Değer İddialar

a. Sabunun kimyasal yapısını belirleyiniz. Sabunun temizleme özelliğini açıklayınız. Elde ettiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız.

b. Bu deneyde, esterleşme tepkimesi sonucunda karboksilik asit tuzu olan sabun üretiniz. Farklı yağ asitleri, farklı katkı maddeleri kullanılarak farklı kullanım alanları için sabunlar üretilebilir.

3. ÜNİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

A. Aşağıdaki ifadelerde noktalı yerleri uygun kelime ve kavramlar ile tamamlayınız.

alkanlar	birincil	monoalkoller	karboksilik asit
aromatik	asimetrik	karbonil	ikili bağ
hidroksil	ketonlar	doymamış	eter
alken	polietilen	yağ	doymuş

1. Yapısında pi (π) bağı içeren (karbon atomları arasında ikili ya da üçlü bağlar içeren) hidrokarbonlar .... hidrokarbonlar olarak adlandırılır.

2. Alkenlerin en temel özelliği, karbon atomları arasında en az bir tane .... içermesidir.

3. Benzen, molekül formülü C_6H_6 olan bir .... hidrokarbondur.

4. Alkollerin yapısındaki fonksiyonel grup .... grubudur.

5. Alkil grubuna bir alkoksi bağlanması ile .... bileşiği elde edilir.

6. Yakıtlarda LPG, benzin, motorin (dizel), fuel-oil, katran ve asfalt ürünlerinin bileşenleri olan .... kullanılır.

7. Alkenlere H_2SO_4 katalizörlüğünde su katılırsa .... oluşur.

8. Aldehitler kolaylıkla yükseltgenebilirken .... yükseltgenmeye karşı direnç gösterir.

9. Aldehit ve ketonların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen, yapılarındaki .... grubudur.

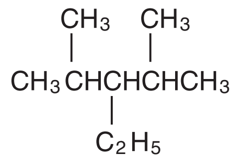
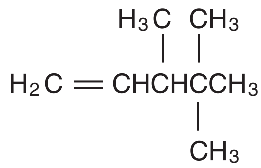
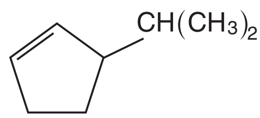
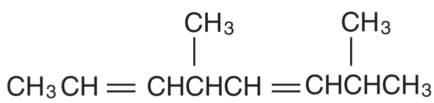
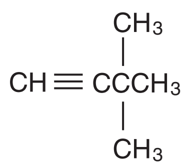
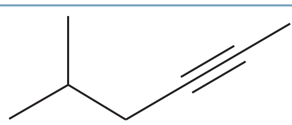
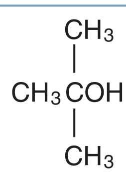
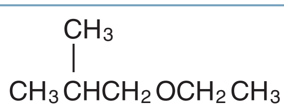
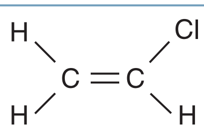
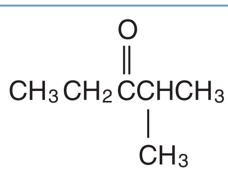
10. Bir alkil grubuna karboksil bağlanması ile .... elde edilir.

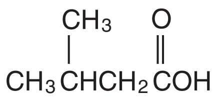
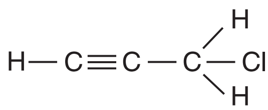
11. Etilen moleküllerinin polimerleşmesi sonucunda .... elde edilir.

12. Oksijene iki farklı alkil grubu bağlanmasıyla .... eter elde edilir.

B. Aşağıdaki etkinlikleri yapınız.

1. Aşağıda formülleri verilen bileşiklerin IUPAC adlarını ve varsa yaygın adlarını yazınız.

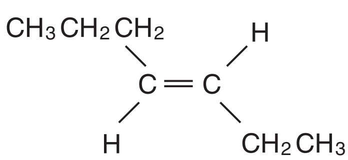
	Bileşik Formülü	IUPAC Adı	Yaygın Adı
a)			
b)			
c)			
ç)			
d)			
e)			
f)			
g)			
ğ)			
h)			

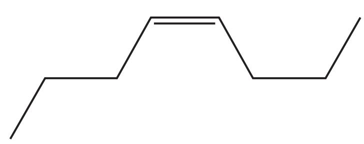
	Bileşik Formülü	IUPAC Adı	Yaygın Adı
ı)			
i)	$CH_3CH_2CO_2CH_3$		
j)			

2. IUPAC ya da yaygın adları verilen bileşiklerin açık formülünü yazınız.

	Bileşik Adı (IUPAC ya da Yaygın Adı)	Bileşiğin Açık Formülü
a)	2-Metil-1-hekzen	
b)	1-Kloro-3,5-dimetilbenzen	
c)	ter-Bütil alkol	
ç)	3-Metilbütanal	
d)	4-Kloro-2-pentanon	
e)	Aseton	
f)	Benzil klorür	
g)	2-Etoksi bütan	

3. Aşağıdaki bileşikleri cis-trans adlarını belirterek adlandırınız.

a) 

b) 

C. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları yanıtlayınız.

1. Aşağıdaki bileşiklerden hangisinin yapısında benzen halkası bulunmaz?

A) Benzil alkol B) Benzoik asit C) Naftalin

D) Asetilen E) Anilin

2. Aşağıda verilen bileşiklerden hangisi alkendir?

A) Asetilen B) Etilen C) Benzen D) Aseton E) Naftalin

3. X: C_2H_4 Y: C_3H_6 Z: $C_4H_{10}O$

Yukarıda verilen X, Y ve Z molekülleri ile ilgili;

I. X alkendir.

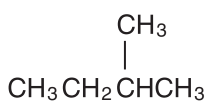
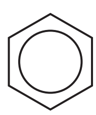
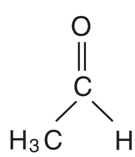
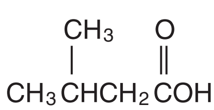
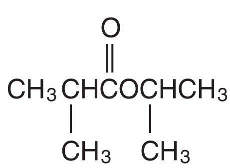
II. Y sikloalkandır.

III. Z monoalkoldür.

ifadelerinden hangileri kesinlikle doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) II ve III

4. Aşağıda verilen bileşiklerin sınıflandırılması hangisinde doğru verilmiştir?

	Bileşik	**Bileşik Sınıfı**
A)		Doymamış hidrokarbon
B)		Alken
C)		Keton
D)		Aldehit
E)		Ester

5. Aşağıda IUPAC adı verilen bileşiklerden hangisinin kapalı formülü C_nH_{2n} genel formülüne uymaz?

A) 2-Büten

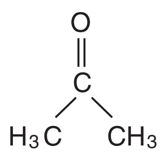
B) 1,2-Dimetil siklobütan

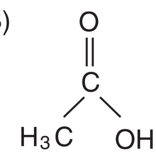
C) Siklobüten

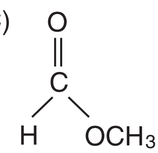
D) 2-Metil-1-büten

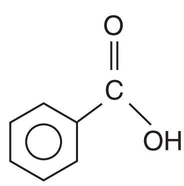
E) 1-Büten

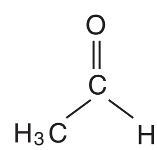
6. Aşağıda verilen bileşiklerden hangisi ketondur?

A) 

B) 

C) 

D) 

E) 

7. $C_4H_8Cl_2$ kapalı formülüne sahip kaç farklı molekül yazılabilir?

A) 5 B) 6 C) 7 D) 8 E) 9

8. Aşağıda verilen bilgilerden hangisi alkanlar için doğru değildir?

A) Aynı karbon sayılı halkalı yapıdaki alkanlar ile izomer değildir.

B) Halojenlerle yer değiştirme tepkimesi verir.

C) Metan, alkanların en küçük üyesidir.

D) Doymamış hidrokarbonlar olarak bilinir.

E) Karbon sayısı arttıkça kaynama noktaları da artar.

9. 2-Metil bütan molekülünden kaç farklı alkil türetilebilir?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

10. I. Karbonil grubu içerme

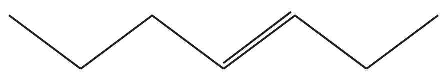
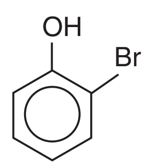
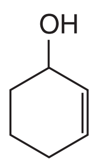
II. Yükseltgenerek karboksilik asit oluşturma

III. İndirgenerek ikincil alkolleri oluşturma

Yukarıda verilenlerden hangisi ya da hangileri aldehit ve ketonlar için ortak özelliktir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III

11. Aşağıda verilen bileşik adlandırmalarından hangisi yanlıştır?

	Bileşik Formülü	Bileşik Adı
A)		*Trans*-3-Hepten
B)	$CH_3CH_2CH{=}C(CH_3)CH_2CH_3$	3-Metil-3-hekzen
C)	$H_3C—CH_2—CH_2—C{\equiv}C—CH_2—CH_3$	Etil propil asetilen
D)		*o*–Bromfenol
E)		3-Hidroksi siklohekzan

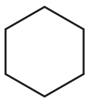
12. Etan, etilen ve asetilen gazlarından oluşan 1 mollük bir gaz karışımına aşağıdaki işlemler ayrı ayrı uygulanıyor.

- Gaz karışımını tamamen doyurmak için 0,7 mol hidrojen gazı kullanılması gerekiyor.
- Gaz karışımı, amonyaklı $AgNO_3$ çözeltisinden geçirildiğinde en fazla 48 g beyaz çökelek oluşuyor.

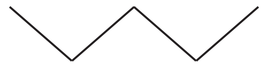
Buna göre başlangıçtaki gaz karışımında etilen gazının molce yüzdesi kaçtır (H:1, C: 12, Ag: 108)?

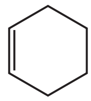
A) 70 B) 60 C) 50 D) 40 E) 30

13. Aşağıdakilerden hangisi doymamış hidrokarbondur?

A) 

B) C_5H_{12}

C) 

D) 

E) C_4H_{10}

14. Yanda verilen bileşikte kaç tane birincil, ikincil ve üçüncül karbon atomu vardır?

$$CH_3-CH_2-\underset{}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}H}}-CH_2-CH_3$$

	Birincil	İkincil	Üçüncül
A)	1	2	3
B)	3	2	1
C)	3	1	2
D)	2	2	2
E)	1	3	2

15. Aşağıdaki bileşiklerden hangisinde cis-trans izomerlik vardır?

A) $CH_3CH_2CH=\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}H}$

B) $CH_3CH=CH_2$

C) $CH_3CH_2CH=CH_2$

D) $CH_2=CH_2$

E) $\overset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{|}{C}H}=CH_2$

16. $CH_3CH_2CH=CH_2+HBr\longrightarrow$

Yukarıdaki tepkime sonucunda elde edilen ana ürün aşağıdakilerden hangisidir?

A) 2-Brom-1-metilpropan

B) 1-Brom-3-metilpropan

C) 2-Brom-3-metilpropan

D) 2-Brombütan

E) 1-Brombütan

17.
I. $H-C\equiv C-H$
II. $H-C\equiv C-CH_3$
III. $H_3C-C\equiv C-CH_3$

Amonyaklı gümüş nitrat çözeltisi ile yukarıdakilerden hangisi ya da hangileri tepkime verir?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III D) I ve III E) I, II ve III

4. ÜNİTE

ENERJİ KAYNAKLARI VE BİLİMSEL GELİŞMELER

KONULAR



Termik santral



Hidrojen enerjisi ile çalışan otomobil

Bu ünitede fosil yakıtların bireye, topluma, çevreye zararlı etkileri ve bu etkileri azaltmak için çözüm önerileri üzerinde durulacaktır. Fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarından güneş, rüzgâr, hidrojen, jeotermal ve biyokütle enerji kaynakları tanıtılacaktır. Sürdürülebilir hayat ve kalkınmanın toplum ve çevre için önemi kimya bilimi ile ilişkilendirilecektir. Nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin bilime, topluma, teknolojiye, çevreye ve ekonomiye etkileri değerlendirilecektir.

ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI

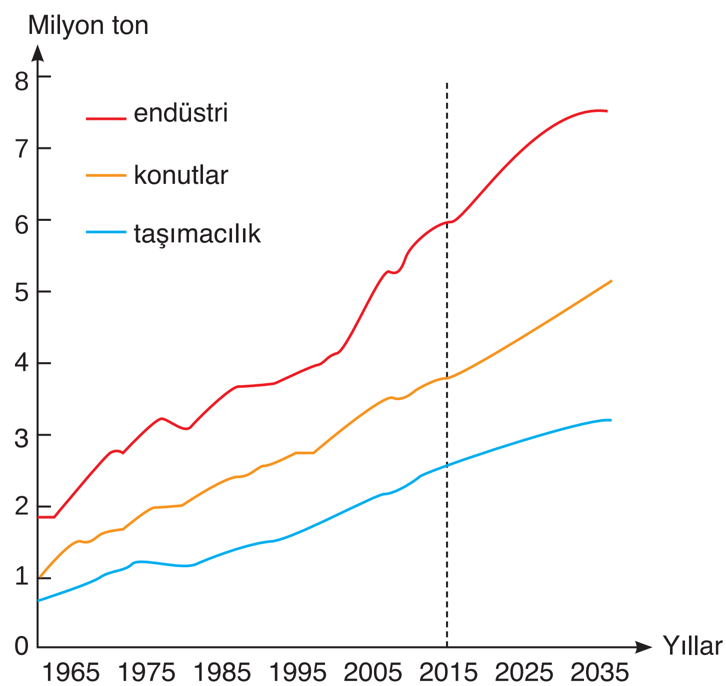
1. Fosil yakıtların çevreye zararlı etkileri nelerdir? Bu etkileri azaltmak için ne tür önlemler alınmalıdır?

2. Alternatif enerji kaynakları nelerdir?

3. Toplum ve çevre açısından sürdürülebilirlik neden önemlidir?

4.1. FOSİL YAKITLAR

Enerji, günümüz koşullarında insanlığın en önemli temel ihtiyaçlarından biri hâline gelmiştir. Endüstri 1.0 olarak adlandırılan dönemde 18. yüzyılın sonlarından itibaren su ve su buharının kullanılmasıyla birlikte endüstriyel üretimde, insan gücünün yerine makinelerin kullanılmasına doğru bir değişim geçirilmiştir. Bu dönemde makineler, buhar gücüyle çalıştırılmıştır. Bu süreçte odun yerine kömürün yaygınlaşması, makinelerin daha da çok kullanılmasını sağlamıştır. Endüstri 2.0 dönemi olarak adlandırılan dönemde, 19. yüzyılın sonuna doğru makinelerin çalıştırılmasında elektrik enerjisi kullanılmaya başlanmıştır. Buhar gücünden daha üstün bu yeni teknoloji, makinelerin daha fazla gelişip üretimi büyük oranda artırmasını sağlamıştır. Endüstri 3.0 döneminde ise 20. yüzyılın ortalarından itibaren elektrik enerjisinin kullanımı; bilgisayar, iletişim ve Genel Ağ teknolojileri sayesinde yaygınlaşmış ve artmıştır. İçinde bulunduğumuz bu dönem yakın gelecekte yerini endüstri 4.0 olarak adlandırılan, fabrikaların kendi enerjisini kendi ürettiği, üretim süreçlerinde insanların yer almadığı, kısaca üretim gerçekleştiren bir fabrikanın kendi kendini yönetebildiği bir döneme bırakacaktır. Bütün bu süreçlerde enerji; endüstride, konutlarda ve taşımacılıkta en çok ihtiyaç duyulan faktörlerden olmuştur (Grafik 4.1).

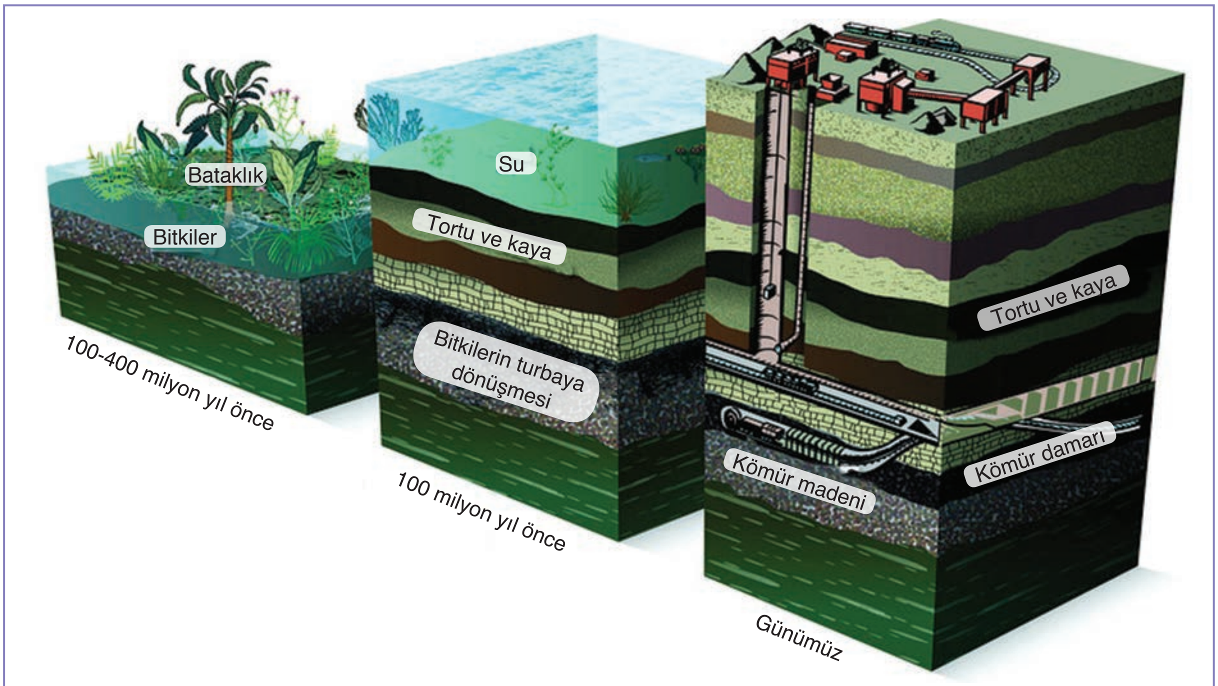


***Grafik 4.1:** Sektörlere göre toplam enerji tüketimi*

Günümüzde fosil yakıtlar, enerji kaynakları içinde önemli bir yere sahiptir. Kömür, petrol ve doğal gaz fosil yakıtlar olarak adlandırılmaktadır.

Kömür

Kömür; başta karbon olmak üzere hidrojen, azot, kükürt gibi elementleri yapısında bulunduran katı, koyu renkli bir kayaçtır. **Kömür**, bataklıkların dibinde, yüksek sıcaklık ve basınçta çürüyen bitkilerin oluşturduğu organik maddelerin üzerinde zamanla kil, kum gibi çökeltilerin birikmesi ve kimyasal değişime uğraması sonucu oluşur (Görsel 4.1).



Görsel 4.1: *Kömürün oluşumu*

Dünyanın birçok bölgesinde kömür bulunmaktadır. Yerin yüzeye yakın bölümlerinde ya da çeşitli derinliklerde kömüre rastlanmaktadır. Kömür oluşumunun meydana geldiği alanlar aşağıdaki gibidir:

- En kalın kömür tabakaları deltalarda oluşur.
- Göller ve nehirler kömür tabakalarının meydana geldiği bataklık ortamlardır.
- Lagünler, deniz etkisiyle ince kömür tabakalarının oluşmasına neden olur.
- Benzer şekilde akarsu taşma ovaları ince kömür tabakalarının oluşmasına olanak sağlar.

Yakıt olarak kullanılan kömürler, içerdiği karbon ve nem oranına, yer altında kalma süresine göre üç tür olarak sınıflandırılabilir.

Kömürün ilk safhası, **turba** olarak adlandırılır. Turba %60 C içerir ve nem oranı oldukça yüksektir. Özgül yanma ısı değeri 1000 kkal/kg ve altındadır. Bu nedenle yakıt olarak kullanılması uygun değildir.

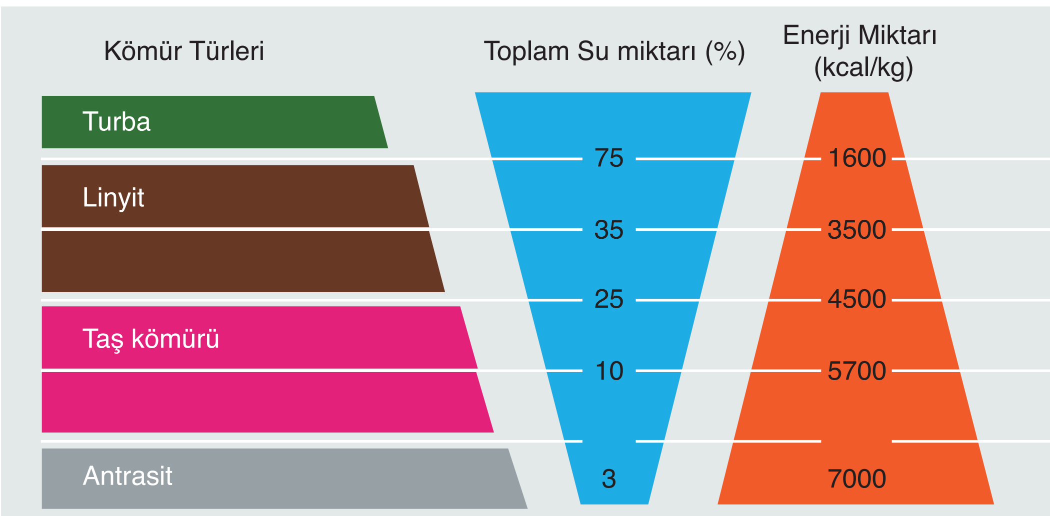
Kömür türleri 40-50 milyon yıldır yer altında bulunan, nem oranı %45-60 ve karbon oranı %65-70 arasında olan kömür **linyit kömürü** olarak sınıflandırılır (Görsel 4.2.a). Linyitin içinde kök ve benzeri bitki kalıntılarına rastlanabilmektedir. Linyitin özgül yanma ısısı 1000 ile 5700 kcal/kg değerleri arasındadır. Taş kömürü (Görsel 4.2.b), 250-350 milyon yıl süreyle yer altında bulunur. Taş kömürünün nem oranı %15-20 ve karbon oranı %75-90 arasındadır. Taş kömürünün özgül yanma ısısı 5700 ile 7000 kcal/kg değerleri arasındadır. Karbon oranı en yüksek kömür türü **antrasittir** (Görsel 4.2. c). %90-95 oranında karbon içerir. Antrasidin özgül yanma ısısı 7000 kcal/kg ve üzeri değerlerine sahiptir.



(a) (b) (c)

***Görsel 4.2:* a.** *Linyit* **b.** *Taş kömürü* **c.** *Antrasit*

Kömürün içindeki karbon oranı arttıkça enerjisi ve ısıl değeri artar. Bu yüzden linyit yerine taş kömürü tercih edilir. Bu kömür sınıfları içinde en değerlisi ise içeriğindeki nem oranı düşük ve özgül yanma ısısı yüksek **antrasit** olarak adlandırılan kömür türüdür (Görsel 4.3).



Görsel 4.3: *Turba, linyit, taş kömürü ve antrasidin nem ve ısıl değerlerinin karşılaştırılması*

Bilişim Teknolojileri

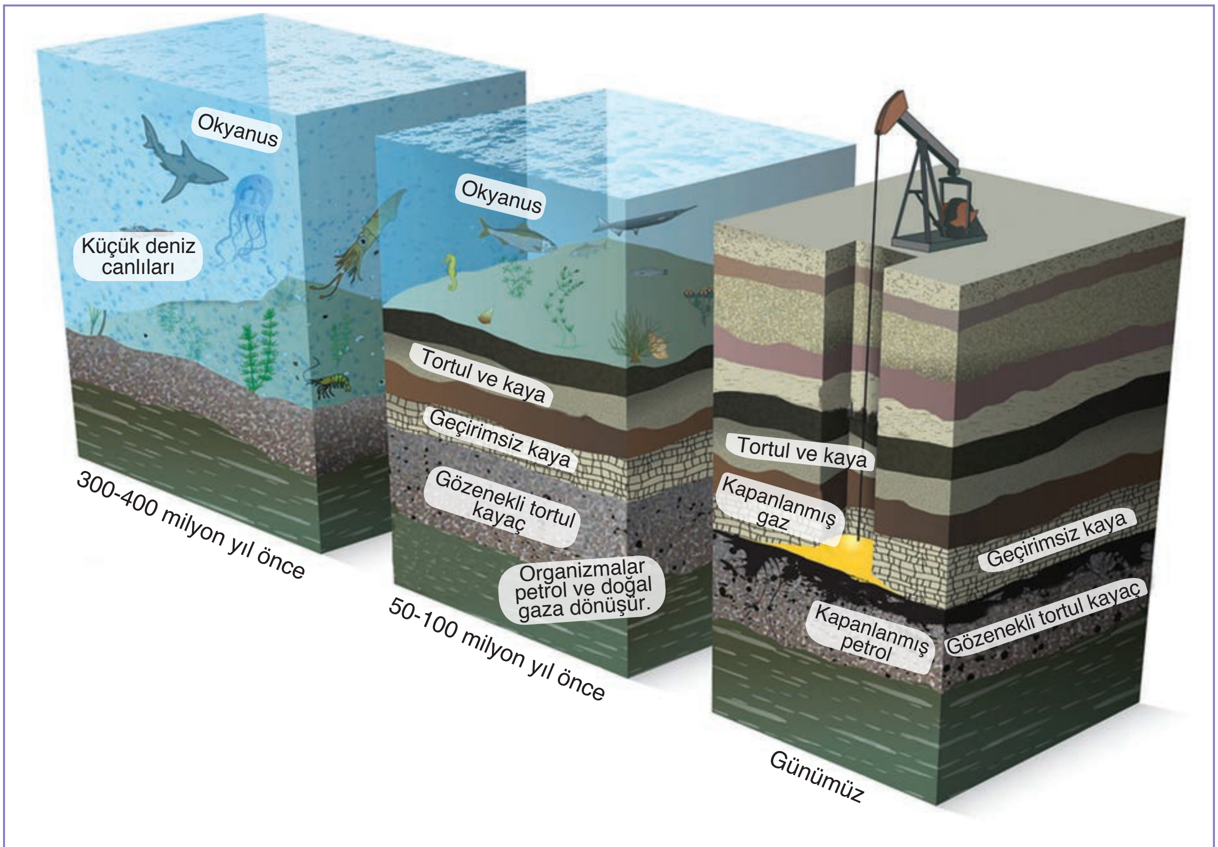
goo.gl/J686jf Genel Ağ adresinde "EBA Ders'ten Sonuçlar" bölümüne girerek aşağıda belirtilen başlıktaki e-içerikleri inceleyebilirsiniz.

- Taş kömürü

Petrol ve Doğal Gaz

Petrol ve doğal gazın oluşumu ile ilgili öne sürülen birkaç teori bulunmaktadır. Bunların hepsine değinilmeyecektir. Yapılan araştırmalar ve elde edilen bulgulara göre **petrol**, canlılığını yitirmiş bitki ve hayvan kalıntılarının deniz, göl veya akarsu diplerinde kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte uzun yıllar boyunca kayaçlar arasında birikmesi sonucu oluşan koyu renkli, yapışkan ve yanıcı bir sıvıdır. Petrol, birçok farklı türde hidrokarbonu ve bunların yanında azotlu, kükürtlü ve oksijenli bazı bileşikleri de içeren bir karışımdır.

Organik maddelerin (ölmüş hayvan ve bitki kalıntıları) petrole ve doğal gaza dönüşmesi çok karmaşık bir süreçtir. Bazı mikroorganizmaların etkisiyle organik maddeler zamanla yer altına doğru gömüldükçe değişime uğrar ve böylece petrolün ve doğal gazın oluşum süreci başlar (Görsel 4.4). Yer altına gömülen bu organik maddelerin önemli aşamalardan geçmesiyle ham petrolün ve doğal gazın oluşumu gerçekleşir.

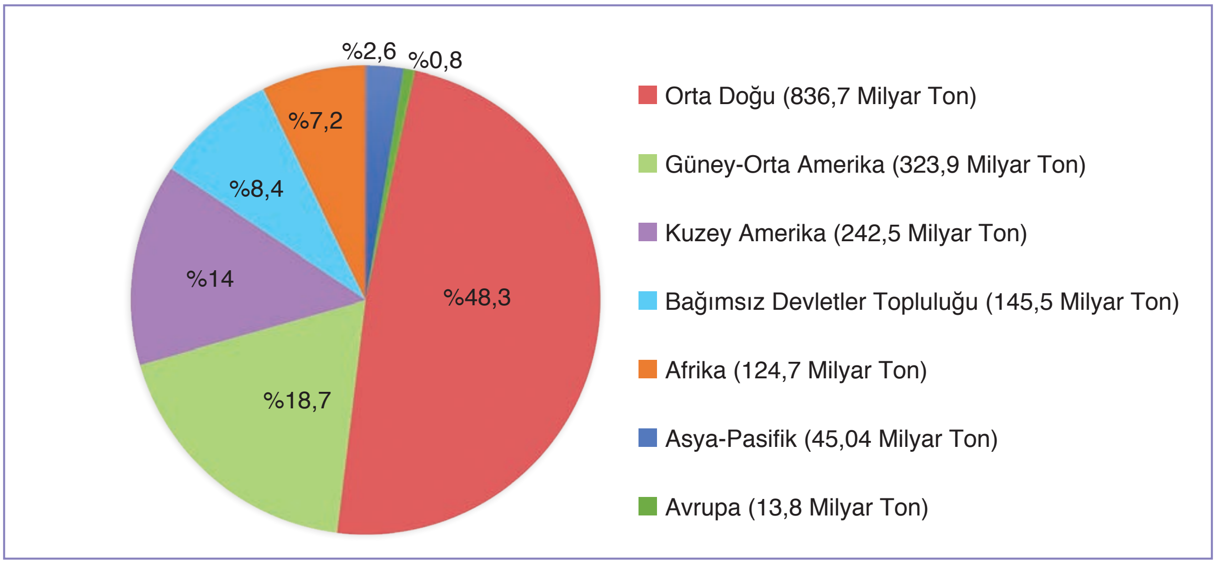


Görsel 4.4: *Petrol ve doğal gazın oluşumu*

İlk oluşum sürecinden sonra özellikle yüksek basınç etkisi ile birlikte ham petrol ve doğal gaz göç yolları aramaya başlar. Bu olay, ham petrol veya doğal gazın **birincil göçü** olarak adlandırılır. Ham petrol ile doğal gaz, içine yerleşebileceği gözenekli ve geçirgen bir kayaç buluncaya kadar kilometrelerce uzağa, yatay veya düşey yönde göç edebilir. Gözenekleri suya doygun, geçirgen bir kayaca göç etmeye çalışan ham petrol ve/veya doğal gaz, sudan daha düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle yavaş yavaş su ile düşey yönde yer değiştirir. Bu olay ham petrol veya doğal gazın **ikincil göçü** olarak adlandırılır. Eğer ham petrol ve doğal gaz bu kayaç gözenekleri içinde sıkışır ve bir başka kayaç içine göç

edemezse ham petrol ve doğal gaz artık **kapanlanmıştır.** Yoğunluğu düşük olan doğal gaz üstte, onun altında ham petrol ve en altta da su kayaç gözenekleri içinde sıralanır. Molekülleri petrolden çok daha küçük olan doğal gaz, bazen ham petrolün içine giremeyeceği yeni bir göç yolu bulup ham petrolden ayrılabilir. Bu şekilde, gözenekleri içinde ham petrol ve doğal gaz kapanlanmış bir kayaç parçasına **petrol rezervi** denir. Sadece doğal gaz kapanlanmış bir kayaç parçasına da **doğal gaz rezervi** adı verilir.

Petrol arama ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte petrol ürünlerine duyulan ihtiyacın giderek artması petrol arama çalışmalarını artırmıştır. Petrol arama çalışmalarındaki bu artış sonucunda dünyadaki tespit edilmiş petrol rezervi (yatağında veya havzasında bulunduğu hesaplanan, henüz işletilmemiş petrol) giderek artmıştır. 2020 yılı sonu itibarıyla dünyadaki toplam petrol rezervi 1732,14 milyar ton seviyesine ulaşmıştır (Grafik 4.2). Orta Doğu, 836,7 milyar ton ile dünyadaki petrol rezervinin yaklaşık yarısını (%48,3) oluşturmaktadır.



Grafik 4.2: *2020 yılı sonu itibarıyla bölgelere göre dünyadaki petrol rezervi* [(2021 yılı “Statistical review of world energy” (70. baskı verilerine göre)]

Yüzlerce hidrokarbondan oluşan ham petrol, doğrudan kullanılamayacağı için istenmeyen maddelerin en az düzeyde olduğu kullanılabilir ürünlere dönüştürülür. Ham petrolün ayrımsal damıtma işlemi ile bileşenlerine ayrıştırılmasına **petrolün rafinasyonu** denir. Ham petrolün rafine edilmesiyle sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), nafta, benzin, fuel oil, gaz yağı, motorin (dizel), asfalt, madenî yağ vb. ürünler elde edilmektedir.

Bilişim Teknolojileri

http://www.eba.gov.tr/arama?q=Petrol Genel Ağ adresinde “Petrol için Sonuçlar” bölümüne girerek aşağıda belirtilen başlıktaki e-içerikleri inceleyebilirsiniz.

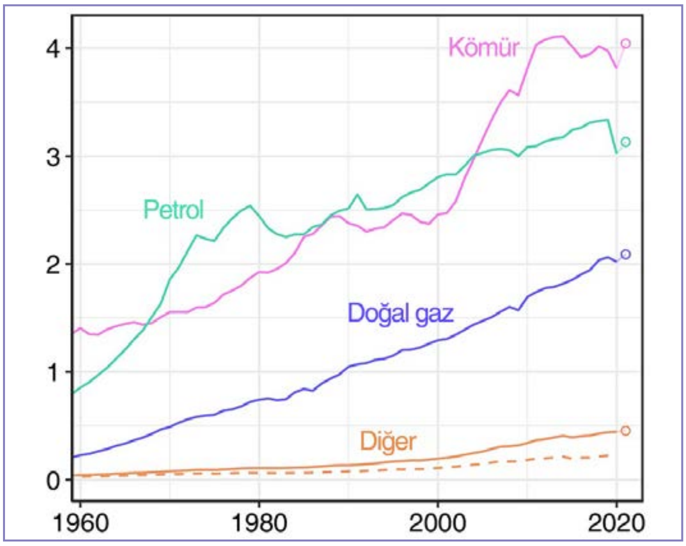
- Petrol
- Ham petrolün oluşma süreci
- Ham petrolün rafinasyonu ve yaygın petrol ürünleri

http://www.eba.gov.tr/arama?q=Fosil%20yak%C4%B1tlar Genel Ağ adresinde “Fosil yakıtlar için Sonuçlar” bölümüne girerek aşağıda belirtilen başlıktaki e-içerikleri inceleyebilirsiniz.

- Fosil yakıtlar

Fosil Yakıtların Çevreye Etkisi

Son iki yüzyıldır önce kömür, daha sonra da petrol, sanayileşmenin ve teknolojinin gelişmesi sonucu insanlığın enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar olarak adlandırılan bu enerji kaynakları, insanlığın ekonomik ve toplumsal gelişmesinde büyük fayda sağlamıştır ancak bunların çevreye verdikleri hasar da oldukça büyüktür.



Grafik 4.3: *Fosil yakıtlardan çıkan CO_2 emisyonu*

Fosil yakıtların kullanımındaki artış ve özellikle elektrik üretiminde kömürün kullanılması; sera etkisine neden olan CO_2 salımını arttırmıştır. Bu durum da iklim değişikliklerine neden olmuştur. Kömür kullanımı devam ettikçe bu olumsuz durum da artacaktır. 9. sınıfta “Doğa ve Kimya” ünitesinden de hatırlayacağınız gibi aslında sera gazları atmosferde doğal olarak bulunur. Dünyanın yüzeyinden ve bulutlardan yansıyan enerjinin bir kısmını soğurarak ısının uzaya geri kaçmasını önler. Sera gazı etkisi olarak adlandırılan bu olgu dünyanın soğumasını engeller. Ancak fosil yakıt kullanımındaki artışla birlikte küresel ısınma kaçınılmazdır.

Enerji kaynakları arasında, sera gazı emisyonlarına en çok etki eden kömürdür. 2020 yılında kömürden kaynaklanan karbon dioksit miktarı 14.52 gigaton olmuştur. Bu ise enerjiden kaynaklanan toplam karbon dioksit emisyonunun %46’sına, tüm sera gazı emisyonlarının ise yaklaşık dörtte birine karşılık gelmektedir (Grafik 4.3).

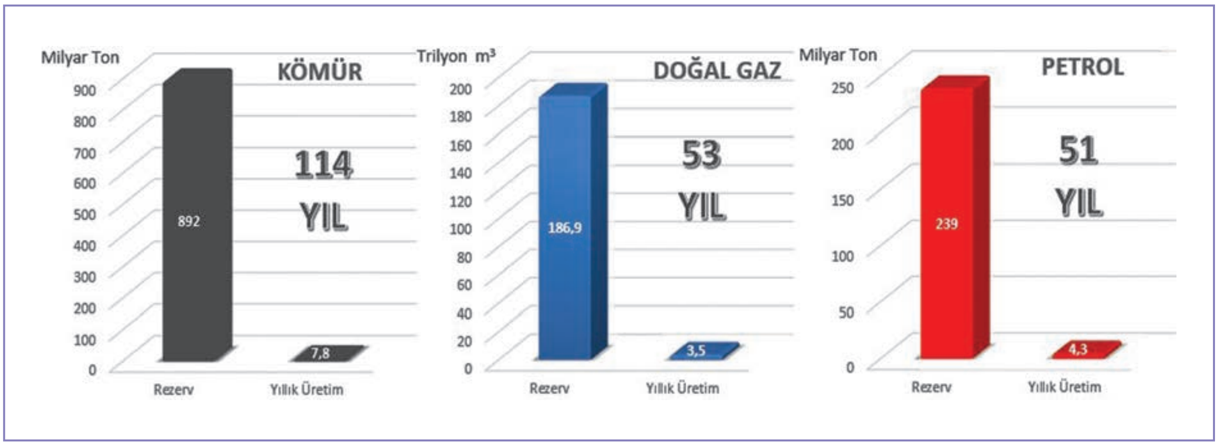
Endüstriyel faaliyetler sonucunda her yıl atmosfere ortalama 20 milyar ton CO_2, 100 milyon ton kükürt oksitler (SO_2, SO_3), 2 milyar ton kurşun ve diğer bazı zehirli kimyasal bileşikler (CO gibi) salınmaktadır (Görsel 4.5). Kömür ve petrol gibi fosil yakıtlardan salınan SO_2, NO_2 ve CO_2 gazları, havada yağmur damlaları ile etkileşime girerek sırasıyla sülfürik asit, nitrik asit ve karbonik asit oluşturur. Atmosfere salınan bu zararlı gazlar hem küresel ısınmaya neden olur hem de asit yağmurları şeklinde yeryüzüne inerek toprağı, suyu kirletir ve canlıların yaşam alanlarını tehdit eder.



Görsel 4.5: *Rusya’da bir termik santralden havaya salınan gazlar*

Küresel ısınma ve iklim değişikliği günümüzde sıkça konuşulmakta ve tartışılmaktadır. Küresel ısınmanın yeryüzüne yaptığı etkiler; kutuplarda buzulların erimesi, denizlerde ve göllerde su seviyesinin artışı, şiddetli ve ani yağışlar, mevsim değişiklikleri ve kuraklıktır. Bu etkiler sonucunda dünyanın bazı bölgelerinde, aşırı yağışlar nedeniyle sel felaketleri yaşanırken bazı bölgelerde ise kuraklık başgöstermektedir. Fosil yakıt tüketiminin aynı hızla sürmesi sonucunda gelecek 50 yıl içinde dünyamızın sıcaklığının yaklaşık 5°C artacağı öngörülmektedir.

Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtlar gün geçtikçe tükenmektedir. Dünya; kömür, petrol ve doğal gaz rezervleri bakımından sonu olmayan bir kapasiteye sahip değildir. Bu rezervler tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır (Grafik 4.4).



Grafik 4.4: *Dünyada kömür, doğal gaz ve petrol rezervlerinin kalan ömürleri*

Yakıtların bilinçsizce tüketilmesi ve zamanla fosil yakıtların rezervindeki azalma, insanların enerji ihtiyacının karşılanmasında güçlükler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle kendimize, çevremize, vatanımıza, ailemize karşı sorumlu bireyler olarak enerji kaynaklarının kullanımı konusunda bilinçli hareket etmeliyiz. Ancak bu şekilde hem enerji tüketimini hem de enerji kaynaklarından çevreye olumsuz etkisini azaltabiliriz. Çevreye olumsuz etkileri göz önüne alındığında fosil yakıtların kullanımının azaltılabilmesi için alternatif enerji kaynakları bulunmalıdır.

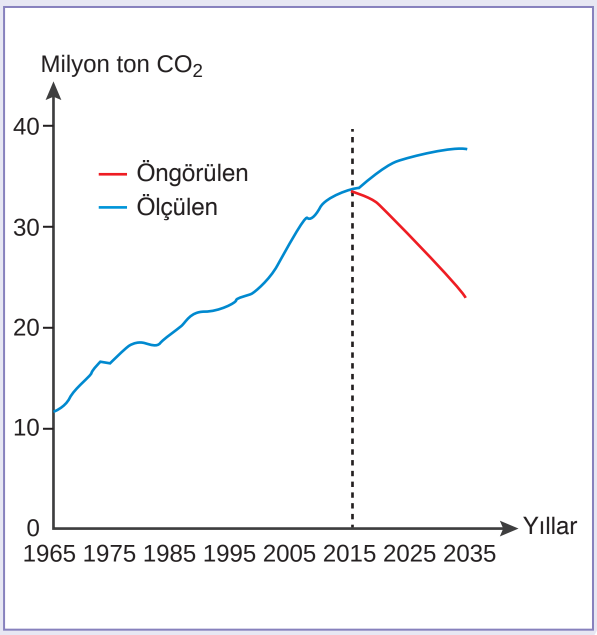
Araştırma

Yandaki grafik, yıllara göre karbon dioksit emisyon değerlerini göstermektedir. Ölçülen değerler mavi çizgi ile gösterilirken, değişimi öngörülen değerler kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Buna göre aşağıda verilen soruları araştırma yaparak yanıtlayınız. Elde ettiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. Karbon dioksit artışına neden olan faktörler nelerdir?

2. Karbon dioksit artışının sonuçları neler olabilir?

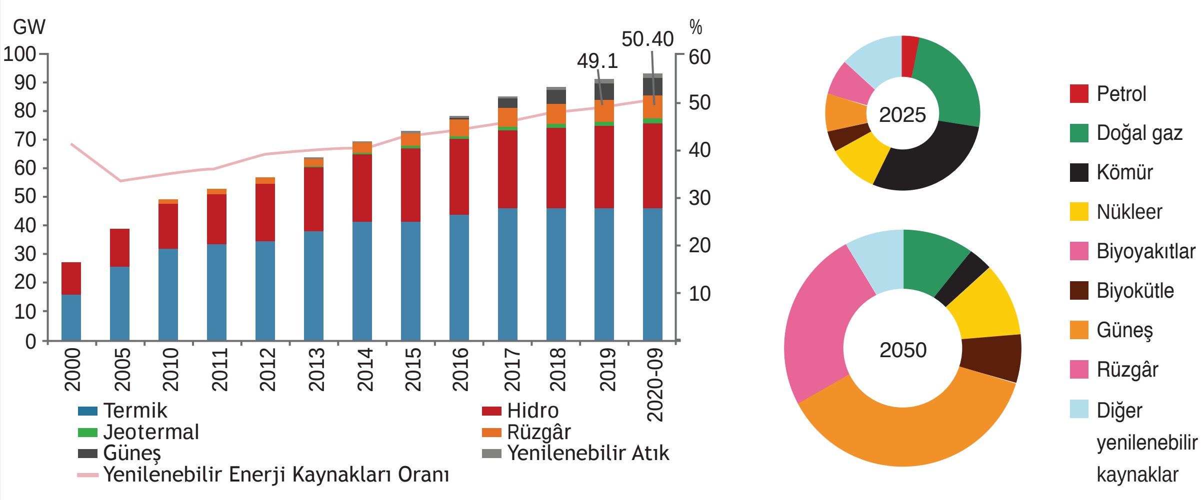
3. Karbon dioksit emisyon değerlerinin kırmızı çizgi ile ifade edilen değerler olabilmesi için ne tür çalışmalar yapılmalı ya da önlemler alınmalıdır? Bunun için çözüm önerileri geliştiriniz.



4.2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

Fosil yakıtlara en önemli alternatif enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji, kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağının tükenme hızından daha çabuk kendini yenileyebilen enerji olarak tanımlanmaktadır.

Yenilenebilir enerjilerin fosil yakıtlara göre en önemli avantajı tükenme riskinin olmamasıdır. Ayrıca çevreyi kirletmemesi veya çok az kirletmesi, doğaya ve canlıların yaşam alanlarına zarar vermemesi ya da çok az zarar vermesi fosil yakıtlara göre yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer avantajları arasında ifade edilebilir. Bunların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları bazı dezavantajlara da sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumunda kullanılmasında bazı coğrafi sınırlılıkların bulunması; hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi dışında bazı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında maliyetlerin yüksek olması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım artışını yavaşlatmaktadır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında ifade edilmektedir. 2021 yılı itibarıyla ülkemiz kurulu gücünün yüzde 50,4'ünü yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve fosil yakıtların yerini almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2050 yılına kadar toplam elektrik üretiminin içinde %62 pay alması beklenmektedir (Grafik 4.5).



* Yenilenebilir enerji; rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle ve biyoyakıtları içermektedir.

(a) **(b)**

Grafik 4.5: a. *Yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim miktarları* ***b.*** *2025 ve 2050 yıllarına kadar elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının yüzde olarak payı.*

Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, Güneş'ten gelen ve yeryüzünde şiddeti 0-1100 W/m^2 değerleri arasında değişen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Isıtma, soğutma işlemlerinde ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilmektedir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre yıllık toplam güneşlenme süresinin 2737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1527 kWh/m^2.yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m^2) olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çeşitlilik göstermekle birlikte genel olarak iki ana gruba ayrılabilir:

Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP): Güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilmektedir (Görsel 4.6.a).

Güneş Hücreleri: Fotovoltaik güneş elektriği sistemleri de denilen yarı iletken malzemeler Güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirir (Görsel 4.6.b).



(a)



(b)

Görsel 4.6: a. *Güneş enerjisinden ısı üretimi yapan sistem* **b.** *Güneş hücresi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sokak lambası*

Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, Güneş'ten gelen ışınların yeryüzünün küresel yapısından dolayı yer yüzeyini farklı miktarlarda ısıtması sonucunda meydana gelmektedir. Yer yüzeyinin farklı miktarlarda ısınması, hava sıcaklığı, nem ve basınç değerlerinin yeryüzünün farklı bölgelerinde, farklı olmasına neden olmaktadır. Bu basınç farklılığı da hava hareketlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu hava hareketleri rüzgârların oluşmasını sağlamaktadır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için rüzgâr türbinleri kullanılır (Görsel 4.7).



Görsel 4.7: *Rüzgâr türbinleri*

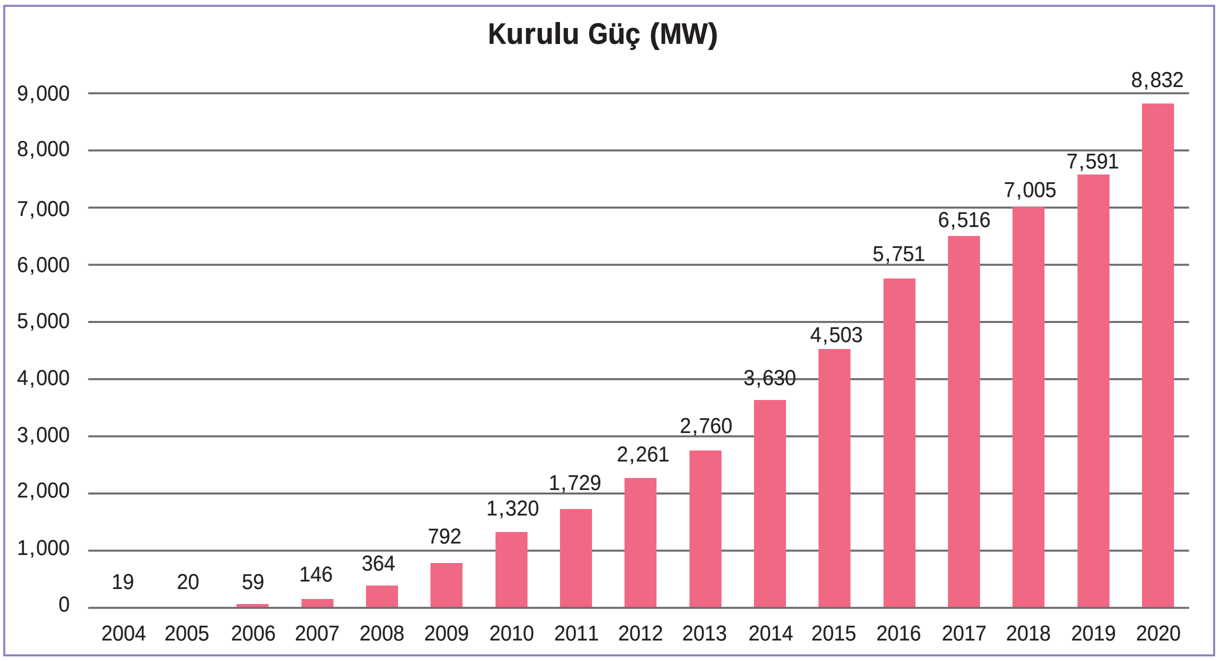
Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin temel ögesidir ve hareket hâlindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye ve sonra elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir.

Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklara ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına göre ve bölgesel farklılıklar göstermektedir. Rüzgâr, hız ve yön olmak üzere iki değişken ile ifade edilmektedir. Rüzgârın hızı yükseklikle artmakta ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişmektedir. Rüzgâr enerjisi türbinlerinin ilk yatırım maliyeti yüksek, üretim kapasitesi düşüktür. Rüzgâr türbinleri, belirli bir rüzgâr hızı oluştuğunda elektrik enerjisi üretimine başlayabilmektedir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârın sabit bir hızda ve belirli bir yönde esmemesi nedeniyle değişken enerji üretimine sahiptir. Ayrıca rüzgâr türbinleri, göçmen kuşların göç yollarını etkileyebilmekte ve gürültü kirliliğine neden olabilmektedir. Bu dezavantajları yanında rüzgâr enerjisi bazı üstünlüklere de sahiptir.

> 2020 yılı sonu itibariyle işletmede olan lisanslı rüzgâr enerji santrallarının kurulu gücü 8.832 MW'dır.
>
> https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar

- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.
- Tükenmesi ve zamanla fiyatının artması söz konusu değildir.
- Geliştirilen yeni teknolojiler ve rüzgâr enerjisi kullanımının yaygınlaşması ile birlikte maliyet değerleri de azalmaktadır.
- Bakım ve işletme maliyetleri yüksek değildir, istihdam yaratır.

Ülkemizde rüzgâr enerji santralleri son 15 yılda önemli oranda artmıştır (Grafik 4.6).



Grafik 4.6: *Ülkemizde rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllar içindeki gelişimi*

Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerin derinliklerinde bulunan kayaçların içinde biriken ısının akışkanlarca taşınarak depolanması sonucu oluşan sıcak su, buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay olarak elde edilen ısı enerjisidir.

Ülkemiz, jeoloji ve coğrafi konumu itibarı ile aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal kaynaklar bakımından zengindir. Ülkemizin her tarafında yayılmış 1.000 adet civarında doğal çıkış şeklinde, değişik sıcaklıklarda birçok jeotermal kaynak mevcuttur. Ülkemizin jeotermal potansiyeli teorik olarak 31500 MWt olup potansiyel oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın % 90'ı düşük ve orta sıcaklıktadır ve doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi vb.) için uygundur. %10'u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur.

Jeotermal kaynaklar yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bugün için jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi, ısıtma (sera ve konut), sağlık turizmi, endüstriyel mineral eldesi gibi alanlarda yararlanılmaktadır. Ülkemizde jeotermal enerji uygulamalarında ilk elektrik üretimi 1975 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından kurulan ve 0,5 MWe güce sahip Denizli ilinin Sarayköy ilçesindeki Kızıldere Santrali ile başlatılmıştır. Ülkemizde 2020 yılı sonu itibarıyla jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretimine ilişkin kurulu güç 1.613 MW olmuştur.

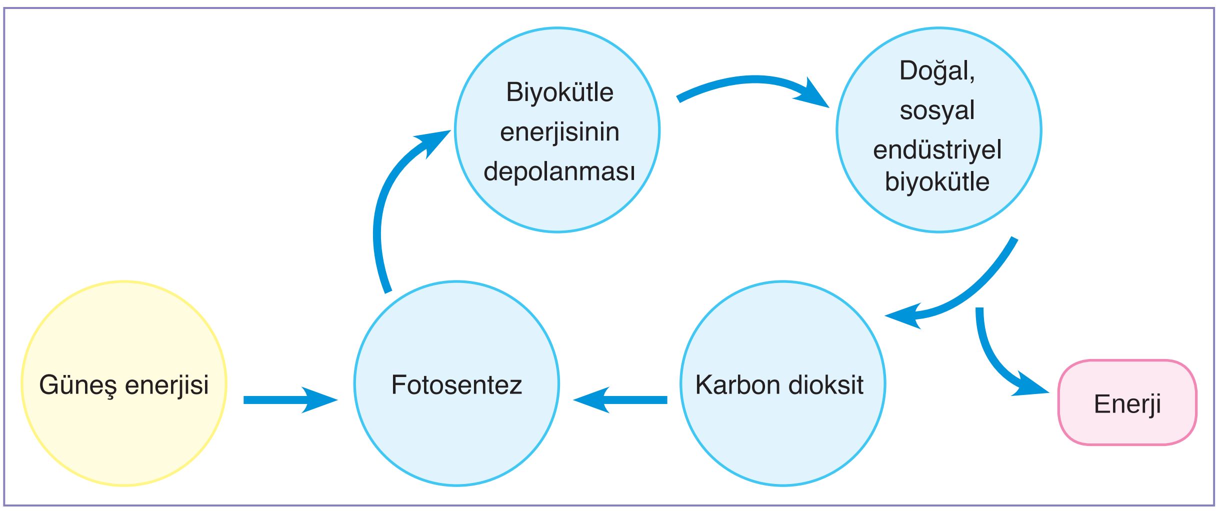


Görsel 4.8: *Denizli ilinin Sarayköy ilçesindeki Kızıldere Santrali.*

Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucunda oluşan biyolojik kütle ve organik madde kaynaklarıdır. Karbon içeriği zengin bu organik maddeler, oksijen ile tepkimeye girdiğinde enerji açığa çıkar (Şema 4.1).

Şema 4.1: *Biyokütlenin çevrimi*



Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin ortadan kaldırılması açısından büyük önem arz etmektedir. Bitkisel kaynaklı biyokütle, yaygın yetiştirilme alanına sahiptir. Biyokütle; elektrik üretiminde, kimyasal madde üretiminde ve taşıtlarda akaryakıt olarak kullanılabilmesi nedeni ile önemli bir enerji kaynağıdır. Biyokütle kaynakları çeşitlilik göstermektedir.

- **Bitkisel biyokütle kaynakları:** Yağlı tohumlu bitkiler (ayçiçeği, kanola, soya vb.), şeker ve nişasta bitkileri (şeker pancarı, patates, buğday vb.), lifli bitkiler (keten, kenevir vb.), proteinli bitkiler (bezelye, fasulye vb.), bitkisel ve tarımsal artıklar (dal, yaprak, sap, saman kök, vb.)
- **Orman ve orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynakları:** Odun ve orman atıkları
- **Hayvansal biyokütle kaynakları:** Mezbahane atıkları, sığır, at, koyun gibi hayvanların dışkıları
- **Organik çöplerden, şehir ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyokütle kaynakları:** Kanalizasyon ve dip çamurları, gıda sanayi atıkları, endüstriyel ve evsel atık sular

Hidrojen

Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (üst ısıl değeri 140,9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7 MJ/kg). 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Sıvı hidrojenin hacmi, gaz hâlindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Hidrojen doğada serbest hâlde bulunmaz, bileşikler hâlinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur. Bu nedenle doğal bir enerji kaynağı değildir. Ancak birincil enerji kaynakları ile bazı ham maddelerden üretilebilmektedir.

Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda hidrojenin yakıt olarak kullanımı temiz ve kolaydır. Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında çevreyi kirletici ve sera etkisini artırıcı hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde oluşumu söz konusu değildir, atmosfere salınan ürün sadece su ve/veya su buharı olmaktadır. Hidrojen, fosil yakıtlara göre daha verimli bir yakıttır. Hidrojen gazı şu yöntemlerle elde edilebilmektedir:

- Kömür, doğal gaz, benzin gibi fosil yakıtlardan termokimyasal yöntemlerle hidrojen elde edilebilmektedir.
- Suyun elektrolizi ile hidrojen elde edilebilmektedir. Elektrik enerjisi kullanılarak sudan hidrojen ve oksijen gazı elde edilir.
- Fotoelektrokimyasal yöntemle güneş enerjisinden hidrojen elde edilebilmektedir. Bunun için suya batırılmış güneş pillerinden yararlanılır. Normal elektroliz yönteminden daha verimlidir.
- Fotobiyolojik yöntemle yeşil yosunların doğal fotosentez faaliyetlerinden faydalanılarak hidrojen elde edilebilmektedir.
- Çeşitli hidrür bileşiklerinden kimyasal yöntemlerle hidrojen elde edilebilmektedir. Bunların en önemlisi sodyum borohidrürdür ($NaBH_4$).

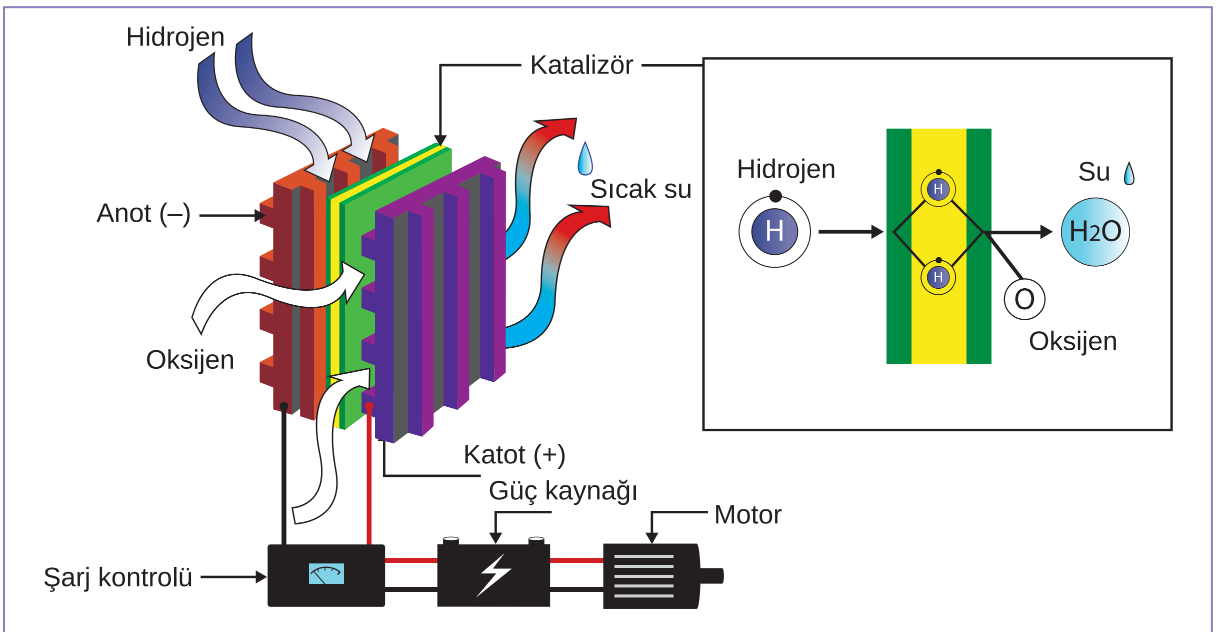
Araştırma sonuçlarına göre şu anki koşullarda hidrojenin diğer yakıtlara göre daha pahalı olduğu, yaygınlaşması durumunda hidrojen üretim maliyetlerinin düşeceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte günlük ya da mevsimlik periyotlarda oluşan ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması, günümüz için de geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu tarzda depolanan enerjinin yaygın kullanılabilmesi, toplu taşımada yakıt piline dayalı otomotiv teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır (Görsel 4.9).



Görsel 4.9: *Hidrojen enerjisi ile çalışan otobüs*

Dünyanın giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir biçiminde sağlayabilecek en ileri teknolojinin hidrojen enerji sistemi olduğu bilim çevrelerince kabul görmektedir. Hidrojen, içten yanmalı motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabildiği gibi katalitik yüzeylerde alevsiz yanmaya da uygun bir yakıttır. Hidrojen gazından enerji üretimine ilişkin yapılan çalışmalar, hidrojeninin yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili teknolojisi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çalışma özelliklerine göre yakıt pillerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Temelde hidrojen yakıt pilleri üç ana ögeden oluşmaktadır. Bu ögeler; anot, membran ve katottur. Anota gelen hidrojen molekülleri önce protonlarına (H^+ iyonları), sonra ise elektronlarına ayrılır. Proton, ortada bulunan membran tarafından çekilir ve membrandan geçerek, katotta bulunan havanın içindeki oksijen gazı ile tepkimeye girip saf suyu oluşturur. Anotta açığa çıkan elektronlar, anot ile katot arasında dışarıdan kurulan bir kapalı devre üzerinden geçirilerek elektrik enerjisi elde edilir. Yakıt pilinde gerçekleşen tüm bu olaylar neticesinde ısı, saf su ve elektrik enerjisi elde edilir (Görsel 4.10).

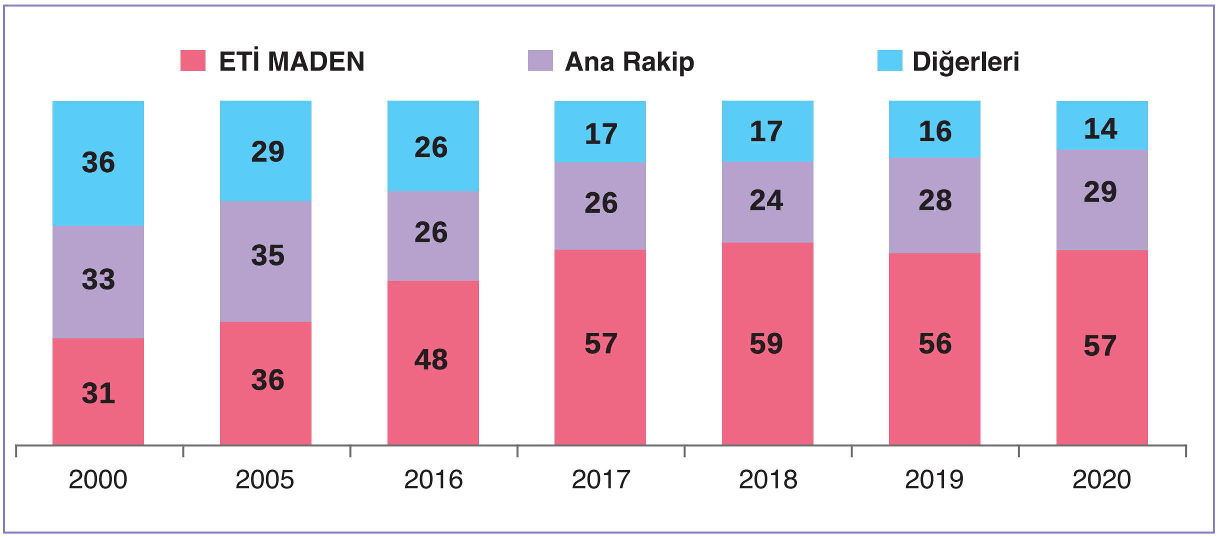


Görsel 4.10: *Hidrojen yakıt pili*

1950'li yılların sonlarında, NASA tarafından uzay çalışmalarında kullanılmaya başlanan yakıt pillerinden, son yıllarda özellikle ulaştırma başta olmak üzere sanayi ve hizmet sektörlerinde yararlanılmaktadır. Yakıt pilleri; taşınabilir bilgisayarlar, cep telefonları gibi mobil cihazlarda kullanılabildiği gibi elektrik santralları için de uygun güç kaynağıdır. Yüksek verimlilik ve düşük emisyon gibi özellikleri nedeniyle ulaşım sektöründe kullanım alanı bulmaya başlamıştır.

Hidrojen enerjisinin insan sağlığını ve çevreyi tehdit edecek bir etkisi yoktur. Hidrojen, enerji kaynağı olarak değil bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Hidrojen; yerel olarak üretimi basit, kolaylıkla ve güvenli biçimde her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, ulaşım araçlarından ısınmaya, sanayiden mutfaklarımıza kadar her alanda yararlanacağımız bir enerji sistemidir.

Hidrojen enerjisi ülkemiz açısından da son derece önemlidir. Bor hidrürlerinin hidrojen üretiminde kullanılabildiği hatırlanırsa ülkemizin hidrojen gazı üretiminde önemli bir avantaja sahip olduğu görülebilir. Türkiye, dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan ve dünyada en yüksek bor üretimi gerçekleştiren ülkedir. Yurtiçi piyasadaki bor ihtiyacının tamamı ülkemizdeki bor rezervlerinden karşılanmaktadır. Dünya bor ihtiyacının da %57'si Eti Maden tarafından sağlanmaktadır. Eti Maden'in 2020 yılı toplam satış gelirlerinin %95'i yurt dışı satış gelirlerinden oluşmuştur. Dünyanın ve ülkemizin bor sektörü pazar paylarının yıllara göre değişim grafiği aşağıda verilmiştir (Grafik 4.7).



Grafik 4.7: *Dünya bor pazar paylarının yıllara göre değişimi*

Bor sadece hidrojen gazı elde edilmesinde değil birçok alanda kullanılabilmektedir. Bor ürünleri; cam, tarım, kimya, deterjan, seramik ve polimerik malzemeler, metalürji, nanoteknolojiler, otomotiv ve enerji, elektronik ve iletişim, uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askerî araçlar, yakıtlar ve inşaat gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu alanlarda, çoğunlukla rafine bor ürünleri kullanılmakla birlikte konsantre bor ürünleri de tüketilebilmektedir.

2020 yılı itibarıyla dünya genelinde tüketilen bor ürünlerinin yaklaşık %81'i cam [yalıtım tipi cam elyafı, tekstil tipi cam elyafı, borosilikat cam (Görsel 4.11), panel cam], seramik, tarım ve deterjan-temizlik sektörlerinde yoğunlaşmıştır. Türkiye, dünyada en çok rafine bor ürünlerinin üretimini gerçekleştiren ülkedir. Ülkemizde 2020 yılında toplam ihracatın içindeki katma değeri yüksek rafine bor ürünlerinin payı %96 olarak gerçekleşmiştir.



Görsel 4.11: *Borosilikattan yapılmış ısıya dayanıklı cam çaydanlık*

Okuma Metni

Prof. Dr. Turhan Nejat Veziroğlu ve Geleceğin Enerjisi Hidrojen



Prof. Dr. Turhan Nejat Veziroğlu; 24 Ocak 1924'te İstanbul Üsküdar'da doğmuştur. İlk ve ortaokulu İzmir Karşıyaka'da, lise öğrenimini Pertevniyal Lisesinde tamamlamıştır. Londra'da makine mühendisliğinden mezun olduktan sonra aynı üniversitede ileri mühendislik çalışmaları ve ısı transferi konularında yüksek lisans ve doktora yapmıştır. 1974 yılında 700 bilim insanının katıldığı Milletlerarası Hidrojen Ekonomisi Konferansı'nda, hidrojen enerjisinin yenilenebilir ve fosil yakıtların yerini alacak tek enerji olduğu fikrini ilk defa ortaya atarak dikkat çekmiş ve bir grup bilim insanı ile hidrojen enerjisi üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır. BM, kendisini bu konuda danışman olarak atamıştır. BM'ye bu konuda bir "merkez ülke" oluşturulmasını, bu ülkenin de Türkiye olmasını kabul ettirmiştir. Hâlen Miami Üniversitesi Temiz Enerji Araştırma Enstitüsü Direktörü olarak görev yapmaktadır. 1982'de Sovyetler Birliği Kurçatof Ödülü'nü, 1986'da İnsanlık İçin Enerji Ödülü'nü almıştır. Prof. Dr. Veziroğlu, 2000'de Nobel'e aday gösterilmiştir.

Prof. Dr. Veziroğlu'nun çalışmaları petrolün yerine, temiz enerji kaynaklarından hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılması konusundadır. Araçlarda, içten yanmalı motorlarda fosil yakıtların kullanılması yerine hidrojenin yakıt olarak kullanılması gerektiğini yıllar önce ilk öne süren kişi Prof Dr. Veziroğlu'dur.

Fosil yakıtların tükendiği, çevrenin alarm verdiği son yıllarda, insanlığın geleceği için hidrojene yönelmenin önemine dikkat çeken Prof. Dr. Veziroğlu, Birleşmiş Milletler Endüstriyel Kalkınma Örgütüne (UNIDO) bağlı Uluslararası Hidrojen Enerjisi Merkezinin (ICHET) de kurucusudur. Uluslararası Hidrojen Kongresi başta olmak üzere birçok etkinliğin ve kurumun öncüsü Prof. Dr. Veziroğlu'nun ilk

araştırma projesi, Mars'a gidecek roketin nükleer hidrojen motorundaki titreşimlerin sebebini bulmak ve gidermek olmuştur. Bu araştırma sırasında hidrojenin uzun seyahatler için iyi bir yakıt olduğunu keşfetmiştir. "Şehirlerde hava kirliliğini gidermek için nasıl bir yakıt kullanabiliriz?" sorusunun yanıtını bulmak için yıllarca çalışmalar yapan Veziroğlu, 1973'te yeryüzünde enerji krizi başlayınca Miami Üniversitesinde Temiz Enerji Araştırma Enstitüsünü kurmuştur.

Prof. Dr. T. Nejat Veziroğlu çalışmalarını şu ifadeler ile anlatmaktadır: "Yeni enerji kaynakları arayacağız çünkü anlaşıldı ki petrol, kömür, doğal gaz tükenecek. Enstitünün adının başına 'temiz enerji' koydum çünkü fosil yakıtların çevreye, şehirlere, insana verdiği zararları biliyorum. Temiz enerji kaynakları bulmamız gerekti. Güneş, rüzgâr, su, nükleer enerji, jeotermal enerji, hiçbiri petrol, doğal gaz gibi kullanışlı değil. Hiçbirini otomobile koyup otomobili süremezsin, uçağa koyup uçağı uçuramazsın. Düşündüm, eğer biz bu yeni enerji kaynaklarından hidrojen üretirsek problemi çözeriz. Çünkü hidrojen en temiz ve verimli yakıt…"

"Biz hidrojen üreteceğiz." diyen ve bunun adını "Hidrojen Ekonomisi" koyan Prof. Dr. T. Nejat Veziroğlu, fikrini yaymak için dünya çapında kongreler yapmıştır. Uluslararası Hidrojen Enerjisi Derneğini kurduktan sonra bu derneğin hidrojen ile ilgili çalışmalarına karşı çıkan petrol şirketleri, Prof. Dr. Veziroğlu ve on bir kişilik ekibine "Hidrojen Romantikleri" adını takmıştır.

https://www.ohu.edu.tr/drv-team/sayfa/prof-dr-turhan-nejat-veziroglu

Nükleer Enerji

Nükleer enerji, büyük atomların (uranyum, plütonyum) parçalanması (fisyon) ya da küçük atomların (hidrojen) birleşmesi (füzyon) sonucunda açığa çıkan enerji olarak ifade edilebilir. Nükleer enerjinin tarihi 1879 yılında Uranyum'un keşfi ile başlar ve 1934 yılında atomun kontrollü bir şekilde parçalanması ile devam eden süreci kapsamaktadır. Birçok ülke, nükleer enerjiden yararlanmak için yoğun çalışmalar gerçekleştirmiş ve bu çalışmaların sonucunda atomların parçalanması ile açığa çıkan ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek sistemler geliştirmiştir. Nükleer santraller olarak adlandırılan bu sistemler, nükleer enerjinin güvenli, kontrollü ve sürdürülebilir bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır (Görsel 4.12).



Görsel 4.12: *Almanya'da Rhein (Ren) Nehri yakınındaki bir nükleer santral*

1970'li yılların başındaki petrol krizi ile birlikte nükleer santraller yaygınlaşmaya başlamıştır. Fosil yakıt kaynakları bakımından fakir ülkeler, bu kaynaklara bağımlılıklarını azaltmak ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak için nükleer santrallere yönelmişlerdir. Nükleer santrallerin tüm dünyada hızlı bir şekilde yaygınlaşması, 1979 yılında ABD'de yaşanan Three Mile Island (Tıri Mayıl Aylınd, TMI) ve 1986 yılında Sovyet Rusya'da (bugün Ukrayna sınırları içinde) yaşanan Çernobil (Görsel 4.13) kazalarına rağmen devam etmiştir. Yakın zamanda, 2011 yılında Japonya'da, Fukuşima'da büyük bir depremin ardından oluşan tsunaminin Fukuşima Nükleer Santraline zarar vermesi sonucunda nükleer sızıntı meydana gelmiştir. Tüm bu kazalar neticesinde önemli dersler çıkarılmış, nükleer santrallerde güvenlik, en

önemli faktör hâline gelmiştir. Bu kazalardan sonra tüm dünyada daha güvenli nükleer santrallerin kurulması ve işletilmesi için hem idari hem de teknik açıdan çalışmalar yapılmıştır. Bir yandan nükleer düzenleme ve denetleme kurumları kurularak yürütülen faaliyetlerin takibi, kontrolü yapılmaya başlanmış; diğer taraftan ise daha güvenli sistem ve ekipmanların üretimi için yeni teknikler, teknoloji, standardizasyon ve kalite sistemleri geliştirilmiştir (Görsel 4.14). Günümüzde nükleer santraller ülkelerin tercih ettiği bir elektrik enerjisi kaynağıdır. Çevreci, güvenilir, ucuz, sürdürülebilir ve erişilebilir bir enerji kaynağına olan ihtiyaç, diğer alternatiflere göre nükleer santralleri ön plana çıkarmaktadır.



Görsel 4.13: *Nükleer kazanın yaşandığı Çernobil Nükleer Santrali*

Nükleer santraller sahip olduğu güvenlik sistemleri ile doğal olarak çevremizde bulunan radyasyonun ancak %1'i kadar yani ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir. Bu nedenle nükleer santrallerin yanında yerleşim, tarım, balıkçılık ve turizm yapılabilmektedir. Paris, Londra, New York gibi dünyanın önemli turizm ve yerleşim merkezlerinin yakınlarında nükleer santraller bulunmaktadır. Yaklaşık 70 yıllık süre içinde edinilen tecrübeler, iyi örnekler ve gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde kurulan nükleer santrallerde, güvenlik alanında önemli gelişmeler sağlanmıştır. Dışarıdan insan müdahalesi olmaksızın 72 saat boyunca soğutma, uçak çarpmalarına karşı koruma, pasif güvenlik sistemleri, dijital kontrol odaları, gelişmiş, ekipman ve sistem tasarımları gibi birçok önemli gelişme nükleer santrallerin daha güvenli bir tasarıma sahip olmasını sağlamıştır.



Görsel 4.14: *Rusya'da bir nükleer enerji santralinde merkezî kontrol sistemi*

Temmuz 2020 itibarıyla 31 ülkede toplam kurulu gücü 400.234 MW olan 446 nükleer santral bulunmaktadır. 19 ülkede, 54 adet nükleer santral ise yapım aşamasındadır. Bu santraller dünyadaki elektrik ihtiyacının %11'ini karşılamaktadır. Fransa elektrik ihtiyacının yaklaşık %71'ini, Ukrayna %54'ünü, Belçika %48'ini, İsveç %34'ünü, Güney Kore %26'sını, Avrupa Birliği %28'ini ve ABD %20'sini nükleer enerjiden karşılamaktadır. Fukuşima Nükleer Kazası'ndan sonra bazı ülkeler, nükleer enerji programlarını gözden geçireceklerini duyurmuşlardır ancak nükleer santrallere yapılan yatırım devam etmiştir. Fukuşima kazasının yaşandığı ülke olan Japonya, kaza sonrası tüm nükleer santrallerini güncellenen güvenlik standartlarına göre denetlemek için geçici süre ile durdurmuştur. 2020 yılı itibarıyla 9 nükleer reaktörünü tekrar işletmeye başlayan Japonya, zamanla diğer nükleer santralleri de işletmeye açmak üzere çalışmalarını sürdürmektedir.

Ülkemizde ilk nükleer enerji santrali olan Akkuyu Nükleer Enerji Santralinin kurulması ve işletilmesi konusunda 2010 yılında Rusya ile anlaşma yapılmıştır. 2023 yılında Akkuyu Nükleer Enerji Santralinin enerji üretmeye başlaması planlanmaktadır. Ülkemizin ikinci nükleer enerji santralinin Sinop'ta kurulması planlanmaktadır. Bu konuda 2013 yılında nükleer santralin kurulması ve işletilmesi konusunda Japonya ile anlaşmaya varılmıştır. Bu alanda çalışmalar devam etmektedir.

4.3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

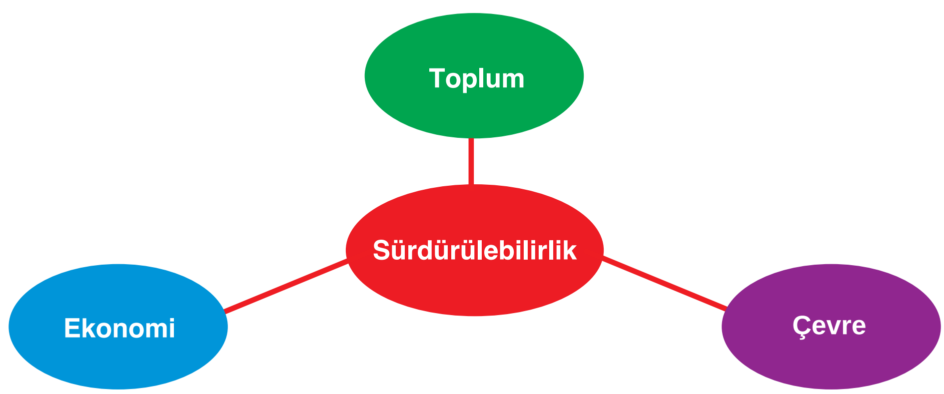
İnsanların yeryüzündeki faaliyetleri yeryüzünün doğal dengesini zamanla değiştirmektedir. Bu değişim, insan nüfusunun artışı ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte günlük yaşantımızda daha fazla hissedilmektedir. Sanayi üretiminde kullanılan ham madde çeşitleri, nüfus artışı, kentleşme, aşırı tüketim, katı atıkların geri dönüşümü, ormanların yok olması, hava-su-toprak kirlenmesi ve bunlara bağlı olarak iklim değişikliği, ozon tabakasının incelmesi ve asit yağmurları çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olan insan faaliyetleri arasında sayılabilir. Ayrıca sel, yangın, volkanik patlamalar, deprem, hortum, doğal değişimler ve canlı türlerinin göçü de çevre koşullarını olumsuz etkileyebilmektedir. Biyologlar, son 50 yılda biyolojik çeşitliliğin azaldığını belirtmektedirler (Görsel 4.15).



Görsel 4.15: *Nesli tükenmekte olan panda ayısı*

Yeryüzünde tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi, atalarımızdan miras aldığımız bu dünyayı bizden sonraki nesillere yaşanabilir bir yer olarak bırakmamıza bağlıdır. Bunun için devletler yeryüzündeki faaliyetlerini sürdürülebilir kalkınma ekseninde gerçekleştirmelidir. Sürdürülebilirlik, kelime anlamı olarak “daimi olma” anlamına gelmektedir. **Sürdürülebilir kalkınma,** ekonomik büyüme ve refah seviyesini yükseltme çabalarını, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak gerçekleştirme yöntemi şeklinde ifade edilebilir. Başka bir söyleyişle sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamasıdır. Sürdürülebilir kalkınmanın **toplum, çevre** ve **ekonomi** olmak üzere üç temel ögesi vardır (Şema 4.2).

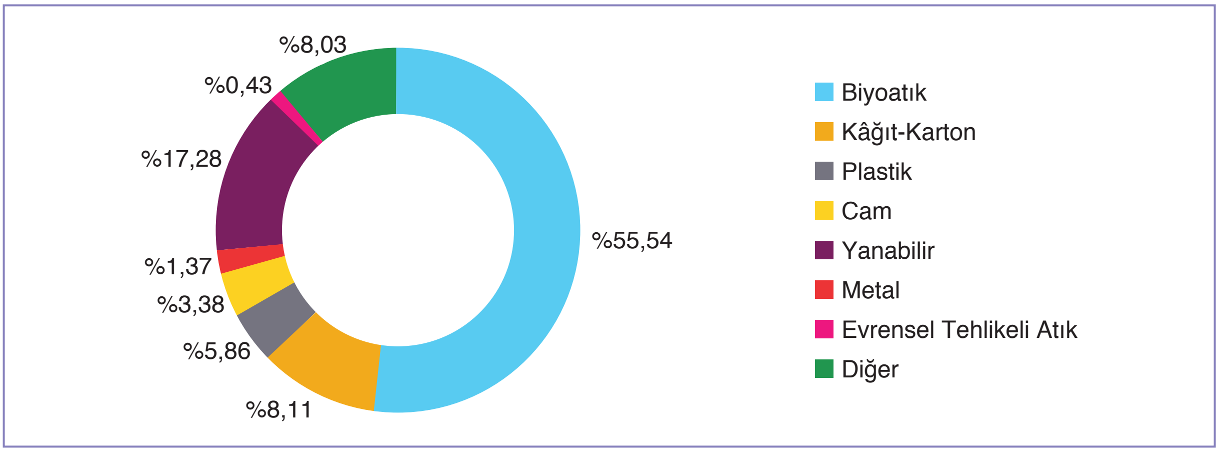
Şema 4.2: *Sürdürülebilirlik ve üç temel ögesi*



Enerji, polimer, kâğıt ve metal sektörleri sürdürülebilir kalkınmada önemli bir yere sahiptir. Yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve doğaya karşı sorumlu davranılması çevresel sürdürülebilirliğin gereksinimlerini oluşturmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerin polimer, kâğıt ve metal ham madde kaynaklarını büyük ölçüde tüketmesi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında kaynak kullanımı ve refah düzeyi açısından büyük farklılıklar meydana

getirmektedir. Ham madde kaynaklarının bilinçli tüketimi, tüketim ve sonucunda ortaya çıkan atık maddelerin geri dönüşüm ile ham maddeye dönüştürülmesi, sürdürülebilir kalkınmanın önemli faktörlerindendir.

2020 yılında ülkemizde katı atıkların belirlenmesi için yapılan çalışmada, belediyelerde katı atık bileşenlerinin oranı Grafik 4.8'de görülmektedir.



Grafik 4.8: *2020 yılında ülkemizdeki belediyelerde katı atık bileşenlerinin oranı*

Türkiye'de değişen tüketim alışkanlıkları, nüfus artışı, yükselen hayat standardı, ambalajlı ürün satışındaki artış ile birlikte katı atık bileşenleri de değişmektedir. Genellikle atıkların ağırlıkça %20'sini, hacimce %50'sini ambalaj atıkları oluşturmaktadır. Ambalaj Elektronik Yazılım Programı'na veri girişi yapan kuruluşlardan alınan ambalaj üretimine, ambalaj türüne bağlı olarak piyasaya sürülen ambalaj miktarlarına orana ile geri kazanımı sağlanan ambalaj atığı miktarlarına ve geri kazanım oranlarına ilişkin sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: *Piyasaya sürülen ambalaj miktarları ve oranları ile geri kazanımı sağlanan ambalaj atığı miktarı ve geri kazanım oranları*

Cinsi	Üretilen Ambalaj (Ton)	Piyasaya Sürülen (Ton)	Geri Kazanılan (Ton)	Gerçekleşen Geri Kazanım Oranı (%)
Plastik	3.513.086	1.144.285	506.717	44
Metal	373.809	160.975	80.747	50
Kompozit	140.497	107.721	76.216	70
Kâğıt karton	1.953.208	1.335.603	1.523.253	114
Cam	878.262	637.045	154.841	24
Ahşap	427.322	562.678	80.747	14
Toplam	7.286.184	3.948.307	2.422.521	61

Ambalaj atık yönetimi; evsel, endüstriyel, ticari ve iş yeri olmasına bakılmaksızın yurt içinde piyasaya sürülen plastik, metal, cam, kâğıt karton, kompozit ve benzeri malzemelerden yapılmış bütün ambalajları ve bu ambalajların atıklarını kapsamaktadır. Ülkemizde katı atıklar içinde önemli bir yer tutan ambalaj atıklarından kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılması ve bunların tekrar ekonomiye kazandırılması için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından gerekli hukuki, idari ve teknik düzenlemeler yapılmıştır. 2004 yılında ilk olarak ambalaja özel bir yönetmelik çıkarılmıştır.



Görsel 4.16: *Kâğıt, plastik, cam ve metal atıkların ayrıştırılması*

Sağlıklı ve sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi, geri kazanılabilir atıkların çöp ile karışmadan, kaynağında ayrı toplanmasını ve organize bir yapı içerisinde geri kazanım sürecinin gerçekleştirilmesini gerektirir (Görsel 4.16). Geri kazanım çalışması ile doğal kaynakların korunması ve kaynak israfının önlenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca bu yolla, hem depolama alanına giden atık miktarı azaltılır hem de değerlendirilebilir atıklar ham madde olarak ekonomiye tekrar kazandırılır.

Sürdürülebilir kalkınma için gerekli faktörler şunlardır:

- **Toplumsal bilinç:** Toplum sürdürülebilir kalkınma ile ilgili bilinçlendirilmelidir.

- **Bilgi ve iletişim:** Enerji kullanımı, çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili gerekli bilgilendirmenin bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmesi çok önemlidir.

- **Çevre eğitimi ve öğretimi:** Eğitim öğretim faaliyetleri, toplumun bilinçlendirilmesinde tamamlayıcı bir faktördür. Çevre eğitimi ve öğretimi, sürdürülebilir kalkınmanın başarıya ulaşmasında önemlidir.

- **Yenilikçi enerji stratejilerinin geliştirilmesi:** Enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasının yanı sıra alternatif ve yenilikçi enerji stratejilerinin geliştirilmesi de önemlidir.

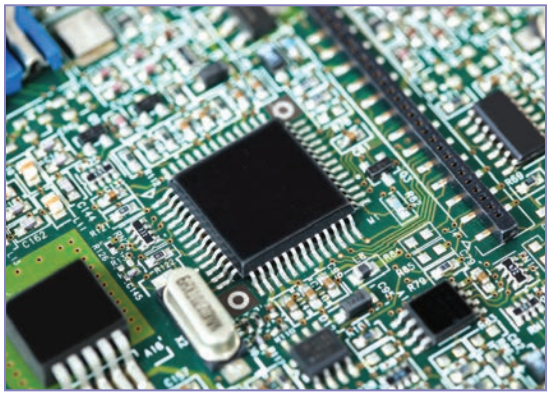
- **Teşvik programlarının geliştirilmesi:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanılması her aşamada teşvik edilmelidir.

- **Finansman:** Sürdürülebilir enerji çalışmalarının tamamlanması için yeterli mali kaynağın ayrılması önemlidir.

- **İzleme ve değerlendirme:** Programların ne kadar başarıyla ilerlediğini görmek için her bir adımı izlemek; elde edilen verileri, bulguları değerlendirmek büyük önem taşımaktadır.

4.4. NANOTEKNOLOJİ

Çevremizde ve günlük yaşantımızda kullandığımız maddeler atomların belirli sayıda, oranda dizilimi sonucunda oluşmuştur. Hatırlayacağınız gibi grafit ve elmas, karbon atomlarının farklı dizilişte bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Karbon atomları uygun bir şekilde yeniden düzenlenebilirse kömürün ya da grafitin, elmasa dönüştürebilmesi mümkündür. Bilgisayar yongalarında (çiplerinde) kullanılan temel element silisyumdur. Bir taş parçasındaki atomlar yeniden düzenlenir ve bazı elementlerden çok az miktarlarda ilave edilirse bilgisayar yongaları elde edilebilir (Görsel 4.17). Benzer şekilde karbon, hidrojen ve oksijen atomları uygun şekilde dizilebilirse vücudumuzun özellikle enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan bazı karbonhidratların üretilebilmesi mümkündür.



Görsel 4.17: *Bilgisayar yongaları*

Atomların tek tek düzenlenmesi oldukça zordur ve ileri düzeyde teknoloji gerektirir. Kimya biliminde maddelerden yeni maddelerin elde edilmesinde, daha büyük miktarlarda maddeler kullanılır. Bu durum, elimize boks eldiveni giydikten sonra oyuncak bloklardan istediğimiz bir modeli oluşturmaya benzetilebilir. Blokları boks eldivenli ellerimizle ittirebilir, birbirine yaklaştırabiliriz ancak blokları birbirine takarak istenilen modeli oluşturmamız mümkün olmaz. Oysa çıplak elle parçaları birleştirmek oldukça kolaydır (Görsel 4.18).



(a)

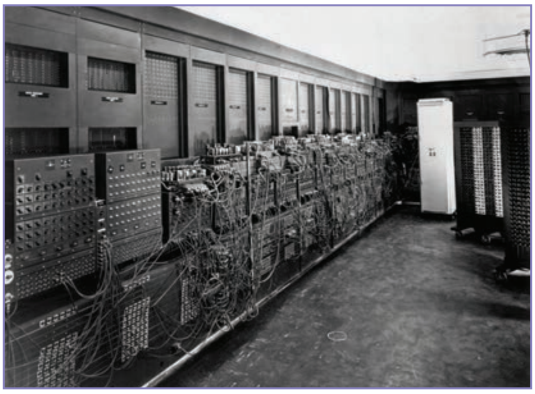


(b)

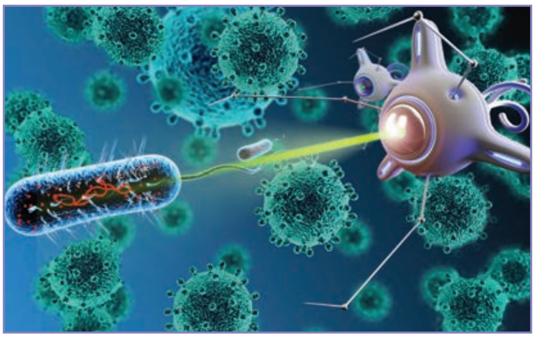
Görsel 4.18: a. *Boks eldivenli ellerimizle oyuncak blokları düzenlemek zordur.*
b. *Aynı iş, eldivensiz kolayca yapılabilir.*

Teknoloji; keşfedilen ya da üretilen yeni maddeler, geliştirilen yeni yöntemler, artan bilgi birikimi sonucu hızla gelişmektedir. 20. yüzyılın ortalarında ilk bilgisayar, bir oda büyüklüğünde üretilmiş (Görsel 4.19); sonraki yıllarda masaüstü bilgisayarlar geliştirilmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte dizüstü bilgisayarlar, cep bilgisayarları olarak da adlandırabileceğimiz akıllı telefonlar üretilmiştir. Günlük hayatta kullandığımız elektronik cihazların giderek küçük boyutlara taşınması nereye kadar devam edecektir? Bu gelişmelerin altında yatan teknoloji nedir? Gelecekte insanlığı bekleyen kolaylıklar nelerdir? Tüm bu soruların yanıtları nanoteknolojide gizlidir.

Nanoteknoloji, nanometre (nm = 10^{-9} m, metrenin milyarda biri, atomik büyüklüğün 10 katı) ölçeğinde gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrol edilmesi ve bu boyutlarda fonksiyonel malzemelerin, araçların ve sistemlerin geliştirilmesi ve üretilmesi olarak ifade edilebilir. Ünlü bilim insanı Richard Feynmann'ın (Riçird Feyman) 1959 yılında yaptığı konuşma, nanoteknoloji çalışmalarının başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Biyolojik sistemlerden esinlenilerek moleküler boyutta makinelerin (Görsel 4.20) yapılabileceği düşüncesini ortaya koyan K. Eric Drexler (Erik Dıreksler), nanoteknoloji kavramını ilk defa dile getiren bilim insanıdır. Sonraki yıllarda nanoteknoloji üzerine nano ölçekte ölçme ve inceleme yapabilen mikroskoplar ve karbon nanotoplarla nanotüplerin geliştirilmesi, nanoteknolojinin yaygınlaşmasına yol açmıştır. Bilim insanları, doğada var olan nano ölçekteki olguları ve yöntemleri öğrenmeye ve kendi kendini denetleyebilen, kontrol edebilen, onarabilen araçlar, malzemeler ve yapılar oluşturmaya çalışmaktadır. Bütün bu gelişmeler, 19. yüzyılda dünyayı yeniden şekillendiren sanayideki gelişmelere eş değer bir bilimsel ve teknolojik yenilik başlatmıştır. Nanoteknoloji ile atomları ve molekülleri kullanılarak transistör ve elektronik aygıtlar üretilmiştir. Bütün bu yenilikler ve gelişmeler elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve sağlık bilimlerinin disiplinler arası ilişki içinde çalışmasını gerekli kılmıştır.



Görsel 4.19: *19. yüzyılın ortalarında üretilen ilk bilgisayar (ENIAC)*



Görsel 4.20: *Nanorobot*

Nanoteknolojinin kullanım alanları oldukça geniştir. Malzeme bilimi, bilgisayar teknolojisi, havacılık ve uzay araştırmaları, tıp ve sağlık, savunma ve enerji bu alanlar arasında sayılabilir.

Malzeme bilimi: Hafif ve dayanıklı nanomalzemeler kullanılarak üretilen araba, uçak ve uzay araçları sayesinde, az enerji tüketimi ile daha uzun yolculukların gerçekleştirilmesi mümkündür. Islanmayan, kendi kendini temizleyen, yanmayan, çizilmeyen yüzeylerin elde edilmesi nanoteknoloji ile mümkündür. Lotus çiçeğinin yaprağından esinlenilerek ıslanmayan (Görsel 4.21), kirlenmeyen, yanmayan kumaş ve boya üretimi nanoteknoloji ile gerçekleştirilebilmektedir.



Görsel 4.21: *Lotus çiçeğinin yaprağı*

Bilgisayar teknolojisi: Nanoteknoloji sayesinde kuantum işlemcilerin geliştirilmesi ile yüksek işlemci kapasitesine sahip bilgisayarlar üretmek mümkündür.

Havacılık ve uzay araştırmaları: Atmosferik etkilere dayanıklı uzay araçlarının üretilmesi, daha hafif ve dayanıklı malzemelerden üretilmiş uçaklar, daha hassas tespitler yapabilen sensörler içeren radarlar nanoteknoloji ile üretilebilmektedir.

Tıp ve sağlık: Mikrocerrahi başta olmak üzere, nano boyuttaki tıbbi aletler, tıbbi robotlar; yeni analiz (Görsel 4.22), teşhis ve tedavi teknikleri, yapay organlar nanoteknoloji sayesinde üretilebilmektedir.



***Görsel 4.22:** Laboratuvarda sanal gerçeklik gözlüğü ile madde içeriğini analiz eden bir araştırmacı*

Savunma: Dayanıklı ve hafif kurşun geçirmez malzemeler, bor kullanılarak üretilmiş zırhlar, radarların tespit etmesini önleyen kamuflaj örtüler, lazer güdümlü akıllı füzeler, gece görüş gözlükleri ve görüntüleme sistemleri, askerlerin sağlık durumunu anlık takip etmeye imkân veren biyosensörler, koordinat ve yer belirlemede kullanılan GPS aletleri, ıslanmayan, soğuktan koruyan ve terletmeyen kamuflajlı askerî kıyafetler (Görsel 4.23) nanoteknolojinin çalışma konularından bazılarıdır.



***Görsel 4.23:** Askerleri soğuktan koruyan, nanoteknoloji ile üretilmiş askerî kıyafetler*

Enerji: Dizel yakıt katkısı olarak nano boyutta parçacıkların kullanılması, yanmanın verimini arttırırken egzoz gazı emisyonlarını ise azaltmaktadır. Elektrik enerjisinin depolanmasında nanoteknolojik elektrotların kullanılması, nanoteknolojiden yararlanarak geliştirilen güneş enerjisi panelleri, enerji iletim hatlarının nanoteknolojiden yararlanılarak geliştirilmesi enerji alanındaki nanoteknoloji uygulamalarına örnek verilebilir.

Yakın gelecekte nanoteknolojideki gelişmeler sayesinde mikroskop altında görülebilen nano ölçekte süper bilgisayarlar geliştirilebilecektir. İnsan vücudunun içinde hastalıklı dokuyu bularak iyileştiren, ameliyat yapan nanorobotlar bulunabilecektir. Sadece hastalıklı dokuya etki eden ve bu dokunun iyileşmesini sağlayan nanoilaçlar (güdümlü ilaçlar) günümüz ilaçlarının yan etkilerini ve diğer dokulara verdikleri zararları ortadan kaldıracaktır. İnsan beyninin kapasitesi ek nano hafızalarla güçlendirilebilecek, kirliliği önleyen nanoparçacıklar sayesinde fabrikalar çevreyi çok daha az kirletecektir. Millî güvenliği ilgilendiren konularda nanomalzeme bilimi, yeni savunma sistemlerinin geliştirilmesinde, haber alma ve gizlilik konularına yönelik çok küçük boyutlarda cihazların yapılmasında kullanılabilecektir.

4. ÜNİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

A. Aşağıdaki ifadelerde noktalı yerleri, uygun kelime ve kavramlar ile tamamlayınız.

kömür	turba	nanoteknoloji	rüzgâr
petrol	yenilenebilir	taş kömürü	sürdürülebilir kalkınma
antrasit	sera gazı	fosil yakıtlar	yenilenemez

1. Kömür, petrol ve doğal gaz ……...…….. ……...…….. olarak adlandırılır.

2. Kömür sınıfları arasında en değerlisi, nem oranı düşük ve özgül yanma ısısı yüksek ……...…….. ……...…….. olarak adlandırılan kömürdür.

3. Bataklıkların dibinde yüksek sıcaklık ve basınçta çürüyen bitkilerin oluşturduğu organik maddelerin üzerinde zamanla kil, kum gibi çökeltilerin birikmesi ve kimyasal değişime uğraması sonucu ……...…….. ……...…….. oluşur.

4. Enerji kaynakları arasında ……...…….. ……...…….. emisyonlarına en çok etki eden kömürdür.

5. Kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağının tükenme hızından daha çabuk kendini yenileyebilen enerji ……...…….. enerji olarak adlandırılır.

6. Güneş'ten gelen ışınların yeryüzünün küresel yapısından dolayı yer yüzeyini farklı miktarlarda ısıtması sonucunda ……...…….. meydana gelmektedir.

7. Kömürün ilk safhası ……...…….. olarak adlandırılır.

8. Ekonomik büyüme ve refah seviyesini yükseltme çabalarını, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak gerçekleştirme yöntemi ……...…….. ……...…….. olarak ifade edilebilir.

9. Canlılığını yitirmiş bitki ve hayvan kalıntılarının deniz, göl veya akarsu diplerinde kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte uzun yıllar boyunca kayaçlar arasında birikmesi sonucu oluşan koyu renkli, yapışkan ve yanıcı sıvıya ……...…….. denir.

10. Metrenin milyarda biri ölçeğinde gerçekleşen fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrol edilmesi ve bu boyutlarda fonksiyonel malzemelerin, araçların ve sistemlerin geliştirilmesi ve üretilmesi ……...…….. olarak ifade edilebilir.

B. Aşağıda, sizden istenen açıklamaları yapınız ve soruları yanıtlayınız.

1. Fosil yakıtlar nelerdir?

2. Fosil yakıtların çevreye etkileri nelerdir? Bu etkilerden ikisini yazınız.

3. Yenilenebilir enerji ne demektir? Yenilenebilir enerji kaynakları nelerdir?

4. Rüzgâr enerjisinin avantajlarından iki tanesini yazınız.

5. Nükleer enerji nedir? Nükleer enerjinin diğer enerji türlerine göre tercih edilme sebeplerini açıklayınız?

6. Sürdürülebilir kalkınmanın temel ögeleri nelerdir?

7. Sürdürülebilir kalkınma için gerekli faktörlerden birini açıklayınız.

8. Nanoteknolojinin uygulama alanlarından bir tanesine örnekler veriniz.

C. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları yanıtlayınız.

1. I. Toplum

II. Çevre

III. Ekonomi

Yukarıda verilenlerden hangileri sürdürülebilir kalkınmanın ögeleri arasında yer alır?

A) I, II ve III B) I ve II C) II ve III

D) I ve III E) Yalnız II

2. I. Metrenin milyarda biri ölçeğinde gerçekleşen olayların anlaşılması için yapılan çalışmalardır.

II. Biyolojik sistemlerden esinlenilmiştir.

III. Disiplinler arası ilişkiye gerek yoktur.

Yukarıda nanoteknoloji çalışmaları ile ilgili verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III

D) I ve II E) I ve III

3. Aşağıdakilerden hangisi sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi için yapılması gerekenler arasında yer almaz?

A) Toplumsal bilincin arttırılması

B) Yenilikçi enerji stratejilerinin geliştirilmesi

C) Fosil yakıt kullanımının teşvik edilmesi

D) Çevre ile ilgili eğitim öğretim faaliyetlerinin yapılması

E) Kaynak israfının önlenmesi

4. X, Y ve Z kömür türlerini belirtmektedir. Bu kömür türlerinin içerdiği nem oranları Y > Z > X şeklinde olduğuna göre X, Y ve Z kömür türleri hangi seçenekte doğru belirtilmiştir?

	X	Y	Z
A)	Antrasit	Taş kömürü	Linyit
B)	Antrasit	Linyit	Taş kömürü
C)	Linyit	Taş kömürü	Antrasit
D)	Taş kömürü	Linyit	Antrasit
E)	Linyit	Antrasit	Taş kömürü

5. I. Akarsu ve göllerde suyun pH'sinin artması
II. Küresel ısınmanın buzulları eritmesi
III. Asit yağmurlarının çevreye zarar vermesi

Yukarıdakilerden hangileri fosil yakıt kullanımının doğrudan ya da dolaylı etkilerinden biri değildir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) II ve III

6. I. Özgül yanma ısısı
II. Nem oranı
III. Karbon oranı

Yukarıda verilenlerden hangisi ya da hangileri taş kömüründe linyite göre daha fazla, antraside göre daha azdır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III

7. Kömürün yanması sonucunda aşağıdaki bileşiklerden hangisi elde edilmez?

A) CO_2 B) H_2O C) NO D) SO_2 E) CH_4

8. I. Alternatif enerji kaynağıdır.
II. İçerdiği temel element karbondur.
III. Ayırma hunisi ile bileşenlerine ayrılabilir.

Yukarıda ham petrol ile ilgili verilenlerden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

9. Rüzgâr enerjisi ile ilgili
I. Yenilenebilir enerji kaynağıdır.
II. Sürdürülebilir kalkınma için gerekli bir enerji kaynağıdır.
III. Değişken enerji üretimine sahip değildir.
ifadelerinden hangisi ya da hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

10. Aşağıda verilen enerji kaynaklarından hangisi alternatif enerji kaynaklarındandır?

A) Motorin B) Doğal gaz C) LPG D) Benzin E) Biyokütle

11. Aşağıda verilenlerden hangisi doğrudur?

A) Rüzgâr enerjisi yenilenemez enerji kaynaklarındandır.
B) Güneş enerjisi, lityum iyon piller ile elektrik enerjisine dönüştürülür.
C) Doğal gaz fosil yakıtlardandır.
D) Yakıt pillerinde elektrik enerjisi ile hidrojen gazı elde edilir.
E) Biyokütle atıklarından fermantasyonla üretilen gaz hâlindeki yakıta doğal gaz denir.

12. I. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılır.
II. Asit yağmurlarının oluşmasına neden olan gazları açığa çıkartır.
III. Hava kirliliğine neden olur.

Fosil yakıtlar ile ilgili yukarıda verilenlerden hangisi ya da hangileri <u>yanlıştır</u>?

A) Yalnız I B) I ve II C) II ve III D) I ve III E) I, II ve III

13. Jeotermal enerji ile ilgili aşağıda verilenlerden hangisi <u>yanlıştır</u>?

A) Yenilenebilir enerji kaynaklarındandır.
B) Merkezî ısıtma işlemi için kullanılabilir.
C) Deniz suyu ya da akarsularda gelgit hareketlerinden yararlanılır.
D) Elektrik üretiminde kullanılabilmektedir.
E) Kaplıcalarda sağlık amacıyla kullanılabilir.

14.
- Rüzgâr enerjisi
- Güneş enerjisi
- LPG
- Jeotermal enerji
- Motorin

Yukarıda verilen enerji kaynaklarından kaç tanesi hava kirliliğinin azaltılması için <u>kullanılamaz</u>?

A) 5 B) 4 C) 3 D) 2 E) 1

15. Aşağıdakilerden hangisinin azaltılması çevre kirliliğini azaltılmasına yardımcı olur?

A) Fosil yakıt kullanımı
B) Jeotermal enerji kullanımı
C) Kömür yerine doğal gaz kullanımı
D) Rüzgâr enerjisi kullanımı
E) Güneş enerjisi kullanımı

ÜNİTE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI CEVAP ANAHTARLARI

1. ÜNİTE

A

1. elektrokimya
2. voltmetre
3. elektrokimyasal hücreler
4. anot, katot
5. standart hücre potansiyeli
6. doğru orantı
7. 1 Faraday
8. korozyon
9. elektrolitik hücreler
10. elektroliz

B

1. $C + 2H_2SO_4 \rightarrow CO_2 + 2SO_2 + 2H_2O$

2. $As_2S_3 + 28HNO_3 \rightarrow 2H_3AsO_4 + 3H_2SO_4 + 28NO_2 + 8H_2O$

3. $\underbrace{3Cu}_{\text{indirgen}} + \underbrace{8HNO_3}_{\text{yükseltgen}} \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$

4. $Fe(k) \mid Fe^{2+}(suda) \parallel Sn^{2+}(suda) \mid Sn(k)$

5. $Pb(k) + Br_2(s) \xrightarrow{Pt} Pb^{2+}(suda) + 2Br^{-}(suda)$

6. $3Pb^{2+}(suda) + 2Al(k) \rightarrow 3Pb(k) + 2Al^{3+}(suda)$ $E^o = 1,53\ V$ (Yükseltgeyebilir.)

$Pb^{2+}(suda) + Cu(k) \rightarrow Pb(k) + Cu^{2+}(suda)$ $E^o = -0,47\ V$ (Yükseltgeyemez.)

7. a) $E^o_{tepkime} = 0,24\ V$ tepkime istemlidir. **b)** $E^o_{tepkime} = -1,41\ V$ tepkime istemli değildir.

C

1. C
2. E
3. A
4. D
5. D
6. E
7. E
8. A
9. B
10. E
11. C
12. B
13. E
14. D
15. C
16. C

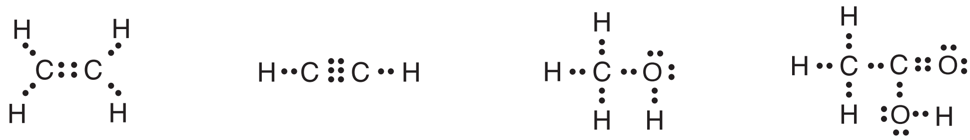
2. ÜNİTE

A

1. organik kimya
2. allotrop
3. yapı formülü
4. ortaklanmış
5. Lewis
6. pi (π) bağı
7. σ (sigma) bağı
8. sp^3
9. düzgün dört yüzlü
10. 3 / 2

B

1.



2.

	I	II	III
a)	1 sp^3 2 sp^2	11	1
b)	1 sp^2 2 sp^3	10	1
c)	1 sp^3 2 sp	18	2
ç)	1 sp^3 2 sp^2	13	1
d)	1 sp^2 2 sp^2	15	4

3.

	I	II	III	IV
a)	sp^2	120°	Düzlem üçgen	AX_3
b)	sp^2	120°	Düzlem üçgen	AX_3
c)	sp	180°	Doğrusal	AX_2
ç)	sp^3	107°	Üçgen piramit	AX_3E
d)	sp^3	109,5°	Düzgün dört yüzlü	AX_4

C

1. A	**6.** B	**11.** B	**16.** D
2. D	**7.** A	**12.** E	**17.** B
3. A	**8.** C	**13.** D	
4. D	**9.** E	**14.** E	
5. C	**10.** B	**15.** C	

3. ÜNİTE

A

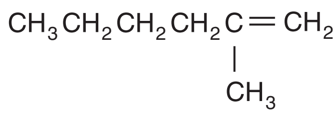
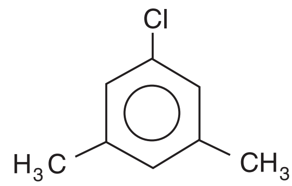
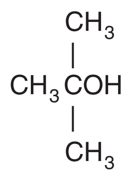
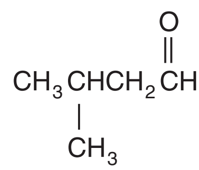
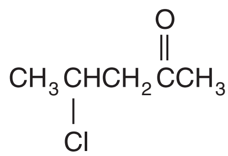
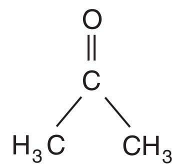
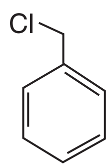
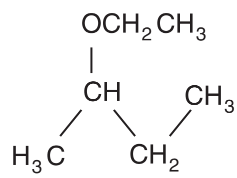
1. doymamış
2. ikili bağ
3. aromatik
4. hidroksil
5. eter
6. alkanlar
7. monoalkoller
8. ketonlar
9. karbonil
10. karboksilik asit
11. polietilen
12. asimetrik

B

1.

	IUPAC Adı	Yaygın Adı
a)	3-Etil-2,4-dimetil pentan	–
b)	3,4,4-Trimetil-1-penten	–
c)	3-İzopropil siklopenten	–
ç)	4,7-Dimetil-2,5-oktadien	–
d)	3,3-Dimetil-1-bütin	ter-Bütil asetilen
e)	5-Metil-2-hekzin	İzobütilmetil asetilen
f)	2-Metil-2-propanol	ter-Bütil alkol
g)	1-Etoksi-2-metilpropan	Etil izobütil eter
ğ)	Klor eten	Vinil klorür
h)	2-Metil-3-pentanon	Etil izopropil keton
ı)	3-Metilbütanoik asit	–
i)	Metil propanoat	Metil propiyonat
j)	3-Klor propin	Allil klorür

2.

	Bileşiğin Açık Formülü		
a)		**b)**	
c)		**ç)**	
d)		**e)**	
f)		**g)**	

3. **a)** *trans*-3-Hepten **b)** *cis*-4-Okten

C

1. D	**6.** A	**11.** E	**16.** D
2. B	**7.** E	**12.** E	**17.** B
3. A	**8.** D	**13.** D	
4. E	**9.** D	**14.** B	
5. C	**10.** A	**15.** A	

4. ÜNİTE

A

1. fosil yakıtlar
2. antrasit
3. kömür
4. sera gazı
5. yenilenebilir
6. rüzgâr
7. turba
8. sürdürülebilir kalkınma
9. petrol
10. nanoteknoloji

B

1. Kömür, petrol, doğal gaz

2.
- Küresel ısınma
- Asit yağmurları

3. Yenilenebilir enerji, kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağının tükenme hızından daha çabuk kendini yenileyebilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında ifade edilmektedir.

4.
- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.
- Tükenmesi ve zamanla fiyatının artması söz konusu değildir.

5. Nükleer enerji, büyük atomların (uranyum, plütonyum) parçalanması (fizyon) ya da küçük atomların birleşmesi (hidrojen) sonucunda açığa çıkan enerji olarak ifade edilebilir.

Çevreci, güvenilir, ucuz, sürdürülebilir ve erişilebilir bir enerji kaynağına olan ihtiyaç, diğer alternatiflere göre nükleer santralleri ön plana çıkarmaktadır.

6. Sürdürülebilir kalkınmanın toplum, çevre ve ekonomi olmak üzere üç temel ögesi vardır.

7. Çevre eğitimi ve öğretimi: Eğitim öğretim faaliyetleri toplumun bilinçlendirilmesinde tamamlayıcı bir faktördür. Çevre eğitimi ve öğretimi, sürdürülebilir kalkınmanın başarıya ulaşmasında önemlidir.

8. Nanoteknolojinin uygulama alanlarından biri tıp ve sağlıktır. Mikrocerrahi başta olmak üzere, nano boyuttaki tıbbi aletler, tıbbi robotlar, yeni teşhis ve tedavi teknikleri, yapay organlar nanoteknoloji sayesinde üretilebilmektedir.

C

1. A	**5.** A	**9.** D	**13.** C
2. D	**6.** D	**10.** E	**14.** D
3. C	**7.** E	**11.** C	**15.** A
4. B	**8.** B	**12.** A	

TERİMLER SÖZLÜĞÜ

A

aldehit : Yapısında CHO grubu olan organik bileşiklerin genel adı.

alkan : Karbonları tek bağ ile bağlanmış ve C_nH_{2n+2} genel formülü ile gösterilen hidrokarbonlar sınıfı. [Örneğin, metan (CH_4)].

alken : Yapısındaki en az iki karbon atomu, çift bağla bağlanan ve C_nH_{2n} genel formülü ile gösterilen hidrokarbonlar sınıfı. [Örneğin, eten $(H_2C = CH_2)$].

alkol : Doymuş karbon atomuna bağlı hidroksil grubu içeren bileşikler.

amin : Fonksiyonel grubu $-NH_2$ olan bileşikler. [Örneğin, $CH_3CH_2NH_2$].

anot : Elektrolizde ve pillerde yükseltgenmenin gerçekleştiği elektrot.

B

biyokütle : Canlılarda organizmanın suyu uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan kuru kütle.

E

elektrokaplama : Bir metal eşya yüzeyine, elektroliz yardımı ile başka bir metal tabakası kaplama işlemi.

elektrokimya : Elektrik akımı etkisiyle yürüyen kimyasal değişmeleri ve kimyasal tepkimelerde oluşan enerjiyi elektrik üretiminde kullanma konularını inceleyen bilim dalı.

elektrik yükü : Artı ya da eksi işaretli, uzaklığın karesiyle ters orantılı biçimde birbirlerini itme ya da çekme gücü gösteren temel elektrik niceliği.

elektrolit : Sıvılarda (özellikle suda) iyonlarına ayrışarak iletkenlik sağlayan madde, çözeltisinde elektrik ileten tür.

elektrolitik hücre : Hücre reaksiyonunun oluşması için dış enerji kaynağı gerektiren bir elektrokimyasal hücre.

elektroliz : Kendiliğinden gerçekleşmesi mümkün olmayan bir kimyasal değişimin, çözeltiden veya erimiş tuz içinden, kontrollü potansiyel altında elektrik akımı geçirilerek meydana getirilmesi işlemi.

elektrot : Elektrik akımının çözeltilere, cihazlara veya pillere giriş-çıkışını sağlayan, yerine göre bir tel veya bir levha olabileceği gibi karmaşık bir düzenek de (hidrojen elektrodu) olabilen, yüzeyindeki madde ile çözeltideki madde arasında indirgenme-yükseltgenme dengesinin kurulduğu bir iletken yüzey.

ester : Organik asitlerle (RCOOH), alkollerin $(R'OH)$ etkileşmelerinden oluşan ve RCOOR′ genel formülüyle gösterilen bileşik grubunun genel adı. Esterler, oluştuğu asitten ve alkolden daha uçucu, su ile karışmayan ve yağları iyi çözen sıvı maddelerdir.

eter : **1.** Renksiz, çok uçucu, az kullanınca ayıltıcı, çok kullanınca bayıltıcı etki yapan, tıbbi anestezide asırlarca kullanılan organik sıvı madde. Yağları ve birçok plastik maddeyi çözer ve çok kolay tutuşur. **2.** İki alkol molekülünden bir molekül H_2O ayrılınca oluşan $R - O - R'$ genel formülüne sahip bileşik grubunun genel adı. R ve R′ gruplarının aynı olması hâlinde simetrik eter, farklı olması hâlinde de asimetrik eter adını alır.

F

Faraday sabiti : Elektrolizde 1 eş değer gram metalin katotta açığa çıkmasını sağlayan elektrik yükü miktarı. 1 Faraday=96485 coulomb/eşd. (1 eş değer gram=metalin mol kütlesi/metalin yükü)

G

Galvanik hücre : Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal hücre.

grafit : Parlak, siyah renkli, karbon atomlarının oluşturduğu altıgenlerden meydana gelen, doğal ya da yapay elde edilebilen bir karbon allotropu.

H

ham petrol : Yer kabuğundan çıkartılan gaz, sıvı ve katı hidrokarbonların siyah-kahve renkli, yanıcı, koyu bir karışımı.

hidrojenasyon : Doymamış yağ asitlerindeki çift karbon bağına hidrojen katılmasıyla aynı karbon atomuna sahip doymuş yağ asitlerinin elde edilmesi.

hidrokarbon : Sadece C ve H'den oluşan bileşikler.

hidroliz : **1.** Zayıf asit ve baz tuzlarının su ile tepkimeye girmesi. **2.** Organik bileşiklerin su ile tepkimeye girerek parçalanmaları. **3.** Nötralleşme tepkimelerinin zıttı. Hidrolizle nişastadan glikoz, sakkarozdan glikoz ve fruktoz, yağlardan yağ asitleri ve gliserin, çeşitli tuz iyonlarından asitler, bazlar ve kompleks iyonlar elde edilir.

İ

indirgenme : Bir element ya da iyonun elektron alarak daha düşük yükseltgenme basamağına geçmesi.

inert : Kimyasal reaksiyona girmeyen, inaktif.

izomerlik : Aynı tür ve sayıda atoma sahip iki veya daha fazla bileşikte atomların düzenlenmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerin farklı olması.

K

kaplama : Genellikle elektriksel yöntemlerle, metal yüzeylerini bir başka metal ya da alaşımla örtme.

karboksilik asit : Genel formülü R–COOH olan organik asit. Burada R alkil veya aril radikali olabilir.

katodik koruma : Korozyondan korunacak metalin potansiyelinin yeterince negatif yapılarak korozyon hızının azaltılması.

katot : Bir elektrokimyasal hücrede indirgenme tepkimesinin gerçekleştiği elektrot.

keton : İki karbon atomu ile birleşmiş karbonil grubu içeren organik bileşik. [Örneğin, (CH_3COCH_3)].

korozyon : Metal veya alaşımların çevreleriyle tepkimeye girerek elektrokimyasal bozunmaları. Bu bozunma asit veya bazların etkisiyle hızlanır. Korozyon sonucunda metal oksitleri oluşur. Alüminyum ve paslanmaz çelik durumunda oluşan oksit daha ileri bozunmayı önleyici etki gösterir. Nemin katalizlediği demirin paslanması korozyon için iyi bir örnektir.

M

monomer : Kendisi ile veya farklı moleküllerle polimer oluşturma eğilimindeki kimyasal madde.

N

nanoteknoloji : Maddenin atomik veya moleküler boyutta işlenerek mikroskobik boyutta ürünlerin üretilmesi yöntemi.

O

oktan sayısı : Standart deney şartları altında otomobil yakıt karışımlarının vuruntuyu önleme özelliklerini gösteren sayı. Normal heptanın oktan sayısı sıfır, izooktanın veya 2, 2, 4-trimetil pentanınki yüzdür. Oktan sayısı karışımdaki izooktan miktarını gösterir. Oktan sayısı; yakıtlara tetraetil kurşun, kurşunsuz benzinde ise metil-tersiyer-bütil eter ilave edilerek artırılır.

P

polimer : **1.** Mol kütlesi ve molekül zincir uzunluğu çok fazla olan çok sayıda monomerin birleşmesiyle oluşan madde. **2.** Yapılarında tekrarlanan monomer birimleri bulunduran makromoleküller.

R

redoks : İndirgenme ve yükseltgenme tepkimelerine verilen kısa ad. (Redox: **Red**uction-**ox**idation)

rezerv : Yatağında veya havzasında bulunduğu hesaplanan, henüz işletilmemiş kömür, demir, petrol vb.

S

standart elektrot potansiyeli : 25°C'ta, 1 atm basınçta yükseltgen ve indirgen derişimi 1M olan bir yarı hücredeki elektrot potansiyeli.

sürdürülebilirlik : Daimi olma.

T

tuz köprüsü : Bir elektrokimyasal hücrede, iki yarı hücre arasındaki yük denkliğinin sağlanmasında kullanılan, jelatin türü bir maddeye emdirilmiş derişik potasyum klorür veya potasyum nitrat içeren ters U biçiminde bir cam tüp.

Y

yarı hücre : Bir elektrot ile bir çözeltiden oluşturulmuş ve elektrot üzerinde indirgenme-yükseltgenme dengesinin kurulduğu bir hücre veya bir elektrokimyasal hücreyi oluşturan hücrelerden biri.

yükseltgenme : Bir atom veya iyonun elektron vermesi sonucu yükseltgenme basamağının artması.

KAYNAKÇA

Atkins, P. ve L. Jones. *Temel Kimya Moleküler Maddeler ve Değişimler.* çev.: E. Kılıç, F. Köseoğlu, H. Yılmaz. Cilt: 1. Ankara: Bilim Yayıncılık, 1997.

Atkins, P. ve L. Jones. *Temel Kimya Moleküler Maddeler ve Değişimler.* çev.: E. Kılıç, F. Köseoğlu, H. Yılmaz. Cilt: 2. Ankara: Bilim Yayıncılık, 1997.

Baird, C. *Chemistry in Your Life,* Second Edition. New York: W. H. Freeman and Company, 2006.

Brown, W. H., S. F. Christopher, L. I. Brent ve V. A. Eric. *Organic Chemistry,* Sixth Edition. United States of America: Brooks/Cole, 2012.

Bruice, P. Y. *Organic Chemistry,* 6th Edition. United States of America: Pearson Prentice Hall, 2011.

Chang, R. *Chemistry*, 10th Edition. New York: Published by McGraw-Hill, 2010.

Erdoğan, G. "*Farklı Kömür ve Linyitlerin Asidik Sulu Ortamlarda Elektrooksidasyonlarının İncelenmesi*" Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2008.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. Bor Sektör Raporu. Mayıs, 2017.

Gerçek, B. "*Bazı Polianilin Türevlerinin Elektroreolojik Özelliklerinin Araştırılması*" Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.

Keleş, A. "*Ftalik Asit Esterlerinden Dimetil Ftalatın Elektrokoagülasyon Prosesi ile Arıtımı*" Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.

McMurry, J. E. ve C. F. Robert. *Chemistry*, 6th Edition. United States of America: Pearson Prentice Hall, 2011.

McMurry, J. *Fundamentals of Organic Chemistry*, 7th Edition. United States of America: Pearson Prentice Hall, 2011.

Melikoğlu, M. ve A. Ayhan. "Türkiye'de Biyoetanol Üretimi ve Potansiyeli." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 26, No: 1, 151-160, 2011.

Oghome, P., M. U. Eke ve C. I. O. Kamalu. Characterization of Fatty Acid Used in Soap Manu Facturing in Nigeria: Laundry, Toilet, Medicated and Antiseptic Soap. *International Journal of Modern Engineering Research, Vol.(2), Issue(4),* 2930-2934, 2012.

Ortaöğretim Kimya Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı. Ankara: MEB, 2018.

Solomon, B. D., R. B. Justin, E. Kathleen ve G. Halvarsen. Cellulosic Ethanol: History, Economics and Energy Policy. *Biomass And Bioenergy,* Cilt: 31, 416-425, 2007.

Solomons, T. W. G. ve B. F. Craig. *Organic Chemistry,* 10th Edition. United States of America: John Wiley & Sons Inc, 2011.

Uysal, A. "*Ham Petrol Fraksiyonlarının Biyolojik Bozunma Sonrası Fizikokimyasal Özelliklerinin Değişimi*" Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2006.

Watts, P. *Concise International Chemical Assessment Document 68: Tetrachloroethene.* World Health Organization, 2006.

Yağlıkçı, S. "*Karbon Nanotüp Üretiminde Katalizörün Gaz Fazı Derişim Profiline Etkisinin İncelenmesi*" Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2012.

Yazım Kılavuzu. Ankara: TDK Yayınları, 2012.

Zumdhal, S. S. ve A. Z. Susan. *Chemistry,* 8th Edition. United States of America: Brooks Cole, 2010.

GENEL AĞ ADRESLERİ

http://www.bayar.edu.tr/besergil/hampetrolun_kokeni_ve_olusumu.pdf (son erişim: 03.12.2017)

https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf (son erişim: 04.01.2018)

http://www.efsa.europa.eu/ (son erişim: 13.1.2015)

http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx (son erişim: 22.12.2017)

http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar (son erişim: 25.12.2017)

http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0397.htm (son erişim: 07.12.2017)

http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0398.htm (son erişim: 07.12.2017)

http://www.mfa.gov.tr/biyo-yakitlar_-brezilya-ornegi-.tr.mfa (son erişim: 23.12.2017)

https://www.ohu.edu.tr/drv-team/sayfa/prof-dr-turhan-nejat-veziroglu (son erişim: 26.01.2018)

http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bilimsanat&view=bilimsanat (son erişim: 25.06.2018)

http://www.tek.org.tr/dosyalar/BAYRAC-ENERGY.pdf (son erişim: 04.01.2018)

http://www.tpao.gov.tr/tpfiles/userfiles/files/petrolmerak.pdf (son erişim: 02.01.2018)

http://www.tupras.com.tr/rup/ (son erişim: 05.01.2018)

GÖRSEL KAYNAKLARI

www.shutterstock.com (Telif hakkı ödenerek satın alınmıştır.)

Sayfa No	Shutterstock No	Erişim Tarihi	Sayfa No	Shutterstock No	Erişim Tarihi
11	686788882	23.12.2019	167	94931878	23.12.2019
11	228761014	23.12.2019	168	154341764	23.12.2019
12	563007307	23.12.2019	169	126099437	23.12.2019
13	112376813	23.12.2019	169	116770039	23.12.2019
44	769521070	23.12.2019	171	109901486	23.12.2019
65	80620627	23.12.2019	172	153670739	23.12.2019
65	43047025	23.12.2019	172	92716132	23.12.2019
72	103020911	23.12.2019	181	696937342	23.12.2019
73	112587551	23.12.2019	184	744259699	23.12.2019
73	112316123	23.12.2019	184	143352229	23.12.2019

74	70242541	23.12.2019	187	226073728	23.12.2019
74	130251671	23.12.2019	190	402983869	23.12.2019
97	188112917	23.12.2019	190	290621837	23.12.2019
97	127598081	23.12.2019	190	98069774	23.12.2019
114	214549735	23.12.2019	194	526226719	23.12.2019
122	113292355	23.12.2019	194	389151193	23.12.2019
122	176276627	23.12.2019	196	655970329	23.12.2019
129	121755526	23.12.2019	197	769094068	23.12.2019
164	180414374	23.12.2019	198	502846984	23.12.2019
164	116174566	23.12.2019	199	97550198	23.12.2019
165	120027175	23.12.2019	201	447731377	23.12.2019
165	57530710	23.12.2019	202	124524904	23.12.2019
166	238587292	23.12.2019	203	339962852	23.12.2019
166	37518382	23.12.2019	203	686322784	23.12.2019
167	145097767	23.12.2019	203	634819844	23.12.2019
167	128159519	23.12.2019	204	708236059	23.12.2019
167	9264850	23.12.2019	204	586083737	23.12.2019

https://fr.123rf.com (Telif hakkı ödenerek satın alınmıştır.)

Sayfa No	123rf No	Erişim Tarihi
135	20778081	23.12.2019
184	10032505	23.12.2019

Yayınevi Arşivi.

12,19, 24, 25, 43, 45, 52, 54, 57, 66, 99,129, 132, 137, 139, 140, 141, 152, 155, 156, 158, 160, 161, 164, 170, 173, 192, 202

Kitapta kullanılan şekiller, yayınevi görsel tasarım uzmanı tarafından çizilmiştir.

18,19, 21, 22, 23, 27 ,28 ,29, 37, 41, 42, 44, 58, 62, 63, 64, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 116, 132, 139, 141

Genel ağ adreslerinden alınan görseller:

https://miro.medium.com/max/656/1*hmCsVMRPhOSJnH2pZUUU1w.jpeg (son erişim: 24.12.2019).

https://www.carolina.com/images/product/large/75-7495_phy.jpg (son erişim: 02.01.2017).

https://www.bfi.org/sites/default/files/styles/sections_beta/public/images/pages/rbf-montreal.jpg?itok=8hyCqjuV (son erişim: 21.12.2017).

http://need-media.smugmug.com/Graphics/Graphics/i-2JgX3xW/0/L/coalFormation-L.jpg (son erişim: 06.01.2017).

https://letslearngeology.files.wordpress.com/2012/07/oil-formation-petroleo.jpg?w=1024 (son erişim: 19.06.2017).

ALIŞTIRMA SORULARININ CEVAPLARI

Sayfa 17

1) $2Al(k)+3Br_2(s) \rightarrow 2AlBr_3(k)$

2) $Zn(k)+2AgNO_3(suda) \rightarrow Zn(NO_3)_2(suda)+2Ag(k)$

3) $3Cu(k) +8HNO_3(suda) \rightarrow 3Cu(NO_3)_2(suda)+2NO(g)+4H_2O(s)$

Sayfa 33

Mg > Al > Cd

Sayfa 34

$ZnSO_4$ çözeltisinde Zn^{2+} iyonları bulunur. Al, Zn metalinden daha aktif olduğu için Zn^{2+} iyonlarını indirger. Fe ise Zn metalinden daha aktif değildir. Bu nedenle Zn^{2+} iyonlarını indirgeyemez. $ZnSO_4$ çözeltisi, Fe metalinden yapılmış bir kapta saklanabilir. Ancak Al metalinden yapılmış bir kapta saklanamaz.

Sayfa 36

Verilen tepkimenin pil potansiyeli +2,0 V olduğu için tepkime istemlidir.

Sayfa 38

1) Ag elektrot katot, Ni elektrot anottur.

2) Katot: $Ag^+ (suda)+e^- \rightarrow Ag(k)$ $\quad E^\circ_{ind} = 0,80\ V$

Anot: $Ni(k) \rightarrow Ni^{2+} (suda) + 2e^-$ $\quad E^\circ_{yük} = 0,25\ V$

3) $Ni(k) +2Ag^+ (suda) \rightarrow Ni^{2+} (suda) + Ag(k)$ $\quad E^\circ_{pil} = 1,05\ V$

Sayfa 40

$E_{pil} = +0,87$ V

Sayfa 42

1) E_{pil} = +0,03 V

2) **a)** Elektronların hareket yönü I numaralı kaptan II numaralı kaba doğrudur.

b) I numaralı kap anot, II numaralı kap katottur.

c) E_{pil} = +0,03 V

Sayfa 51

1) **a)** 48250 C

b) 0,5 mol e^-

c) Katotta 4,5 g Al, anotta 4 g O_2 gazı elde edilir.

2) **a)** 2 F **b)** 2 mol **c)** 40 g Ca

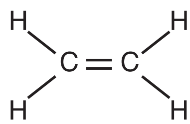
3) **a)** 9650 C **b)** 3,55 g Cl_2

Sayfa 70

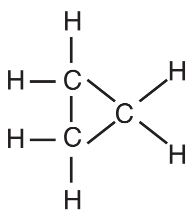
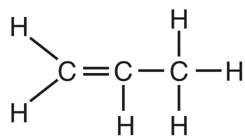
1) Basit formülü: CH_2O, Molekül formülü: $C_6H_{12}O_6$

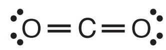
2) $C_2H_6O_2$

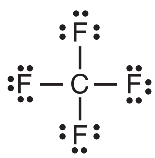
Sayfa 78

a) 

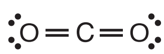
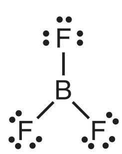
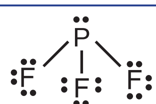
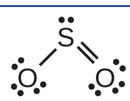
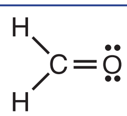
b) H—C≡C—H

c)  

ç) 

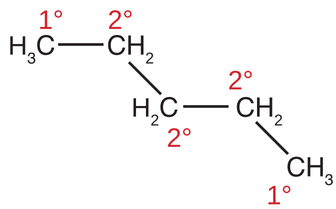
d) 

Sayfa 90

Molekül	Lewis Formülü	Merkez Atomun Hibritleşme Türü	Molekül Geometrisi	VSEPR Gösterimi
CO_2		sp	Doğrusal	AX_2
BeH_2	H—Be—H	sp	Doğrusal	AX_2
BF_3		sp^2	Düzlem üçgen	AX_3
PF_3		sp^3	Üçgen piramit	AX_3E
SO_2		sp^2	Kırık doğru (açısal)	AX_2E
CH_2O		sp^2	Düzlem üçgen	AX_2

Sayfa 102

Dallanmamış düz zincirli C_5H_{12} molekülünden 3 farklı alkil grubu türetilebilir.



2 tane primer C, 3 tane sekonder C atomu vardır. Primer C atomlarına bağlı H atomları primer, sekonder C atomlarına bağlı H atomları da sekonder H atomlarıdır.

Sayfa 108

a) 1–Etil–2–metil siklopentan

b) 1–Etil–3–izopropil–2–metil siklopentan

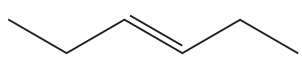
c) 1–*ter*–Bütil–3–izopropil siklopentan

Sayfa 110

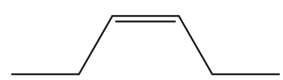
a) II > III > I **b)** II > III > I

Sayfa 128

a)

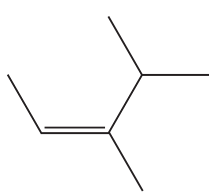


trans–3–Hekzen

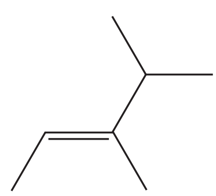


cis–3–Hekzen

b)



trans–3,4–Dimetil–2–penten



cis–3,4–Dimetil–2–penten

Sayfa 134

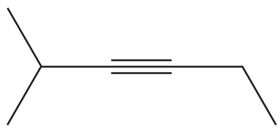
1) a) 3–Metil–1–bütin

b) 2,5–Dimetil–3–heptin

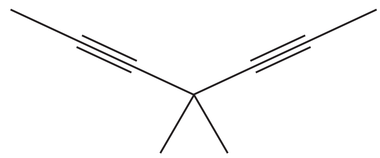
c) 2,6–Oktadiin

ç) 3,3–Dimetil–1–bütin

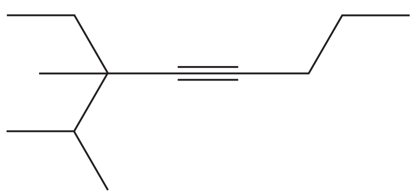
2) a)



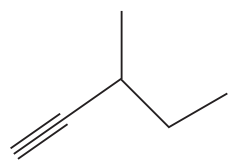
b)



c)



ç)



Sayfa 153

a) 2,4–Dimetil–1–pentanol

b) 4–Penten–2–ol

c) 4–Metil–2–hekzanol

ç) 4–Metil–4–hekzen–2–ol

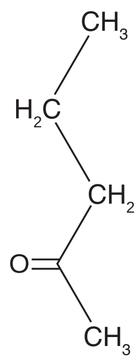
Sayfa 159

a) 2–Etoksi propan

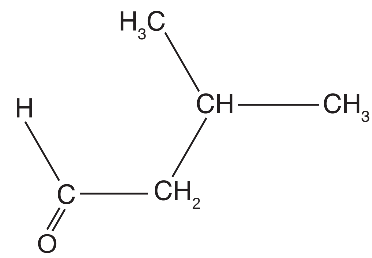
b) Etoksi siklopropan

Sayfa 162

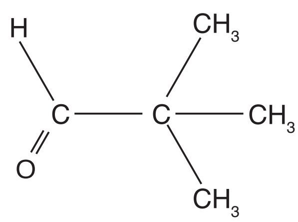
a)



b)



c)



ç)

